

Polish Academy of Sciences

University of Engineering and Economics in Rzeszów

MOTROL

**COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS IN
AGRICULTURE**

AN INTERNATIONAL JOURNAL
ON OPERATION OF FARM AND AGRI-FOOD INDUSTRY MACHINERY

Vol. 15, No 3

LUBLIN – RZESZÓW 2013

Editor-in-Chief: Eugeniusz Krasowski

Assistant Editor: Jerzy Grudziński

Associate Editors

1. Agricultural machinery: *Valeriy Dubrovin*, Kiev, *Mariusz Szymanek*, Lublin
2. Machinery of agri-food industry: *Leszek Mościcki*, Lublin
3. Energetics: *Iliia Nikolenko*, Simferopol, *Janusz Wojdalski*, Warszawa
4. Land management, urban planning, architecture and geodesy: *Karol Noga*, Kraków, *Roman Kodaj*, Rzeszów, *Michał Proksa*, Rzeszów, *Lech Lichołaj*, Rzeszów
5. Mathematical, statistics: *Andrzej Kormacki*, Lublin, *Rostislav Bun*, Lviv

Editorial Board

Dariusz Andrejko, Lublin, Poland
Andrzej Baliński, Kraków, Poland
Wołodymyr Bulgakow, Kiev, Ukraine
Zbigniew Burski, Lublin, Poland
Karol Cupiał, Częstochowa, Poland
Aleksandr Dashchenko, Odessa, Ukraine
Kazimierz Dreszer, Lublin, Poland
Valeriy Dyadychev, Lugansk, Ukraine
Dariusz Dziki, Lublin, Poland
Sergiy Fedorkin, Simferopol, Ukraine
Jan Gliński, Lublin, Poland
Dimitriy Goncharenko, Kharkiv, Ukraine
Aleksandr Hołubenko, Lugansk, Ukraine
L.P.B.M. Jonssen, Groningen, Holland
Stepan Kovalyshyn, Lviv, Ukraine
Józef Kowalczuk, Lublin, Poland
Elżbieta Kusińska, Lublin, Poland
Andrzej Kusz, Lublin, Poland
Janusz Laskowski, Lublin, Poland
Nikołaj Lubomirski, Simferopol, Ukraine
Kazimierz Lejda, Rzeszów, Poland
Dmytro Melnychuk, Kiev, Ukraine
Maksym Melnychuk, Kiev, Ukraine
Jerzy Merkisz, Poznań, Poland
Ryszard Michalski, Olsztyn, Poland

Aleksandr Morozov, Simferopol, Ukraine
Janusz Mysłowski, Szczecin, Poland
Ignacy Niedziółka, Lublin, Poland
Paweł Nosko, Lugansk, Ukraine
Gennadij Oborski, Odessa, Ukraine
Yurij Osenin, Lugansk, Ukraine
Marian Panasiewicz, Lublin, Poland
Sergiy Pastushenko, Mykolayiv, Ukraine
Iwan Rohowski, Kiev, Ukraine
Józef Sawa, Lublin, Poland
Povilas A. Sirvydas, Kaunas, Lithuania
Wołodymyr Snitynskiy, Lviv, Ukraine
Stanisław Sosnowski, Rzeszów, Poland
Ludvikas Spokas, Kaunas, Lithuania
Jarosław Stryczek, Wrocław, Poland
Aleksandr Sydoruchuk, Kiev, Ukraine
Wojciech Tanas, Lublin, Poland
Viktor Tarasenko, Simferopol, Ukraine
Giorgiy F. Tayanowski, Minsk, Bielarus
Henryk Tylicki, Bydgoszcz, Poland
Denis Viesturs, Ulbrok, Latvia
Dmytro Voytiuk, Kiev, Ukraine
Anatoliy Yakovenko, Odessa, Ukraine
Oleg Zaitsev, Simferopol, Ukraine
Tadeusz Złoto, Częstochowa, Poland

All the scientific papers positive evaluations by independent reviewers

Linguistic consultant: Valeriy Dubrovin

Typeset: Hanna Krasowska-Kołodziej, Ivan Rohowski

Cover design: Hanna Krasowska-Kołodziej

Photo on the cover: Janusz Laskowski

Editorial Office address: Commission of Motorization and Energetics in Agriculture

Wielkopolska Str. 62, 20-725 Lublin, Poland

e-mail: eugeniusz.krasowski@up.lublin.pl

ISSN 1730-8658

© Copyright by Polish Academy of Sciences 2013

© Copyright by University of Engineering and Economics in Rzeszów 2013

In co-operation with National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine in Kiev 2013

Edition 200+16 egz. Ark. Druku

Publishing Office address: SAF

Nadbystrzycka Str. 38d, 20-618 Lublin, Poland

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ БИОКОНВЕРСНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Максим Мельничук, Валерий Дубровин, Василий Таргоня, Семен Драгнев
Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15

Maksym Melnychuk, Valeriy Dubrovin, Vasiliy Targonya, Semen Dragnyev
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Рассмотрено альтернативное постиндустриальное направление решения проблем сельскохозяйственного производства за счет интегрированного использования биотехнологических альтернатив. Предложена методология разработки сельскохозяйственных технологий по типу биоконверсного комплекса. Разработаны вариант системного подхода и алгоритм проектирования сельско-хозяйственных биоконверсных комплексов, позволившие устранить недостатки существующего эвристических методов.

Ключевые слова: сельскохозяйственные постиндустриальные технологии, биоконверсный комплекс, биотехнологические процессы, системный подход, алгоритм разработки.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В сложившихся экстремальных условиях мирового системного кризиса чрезвычайно обострилась проблема определения и прогнозирования последующего развития агротехнологий и технических средств для их обеспечения: идти ли и в дальнейшем традиционным путем эволюционного развития индустриальных агротехнологий, которые нуждаются во все больших энергозатратах, и создают целый ряд эколого-экономических проблем, или использовать альтернативное постиндустриальное направление, которое базируется на последних достижениях сельскохозяйственной биотехнологии.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Современное сельскохозяйственное производство характеризуется неопределенно-

стью в соотношении между сельскохозяйственными угодьями, несбалансированностью биохимических веществ и энергии в агроландшафтах, несовершенством системы охраны почв и мониторинга земельных ресурсов. Все это предопределяет не только снижение потенциального плодородия почв, но и нарушение экологической стойкости окружающей среды, снижения производительности сельско-хозяйственных угодий [1, 2].

Вышеуказанные причины обусловили то, что биологический потенциал почв используется лишь на 20-30 %, а энергозатраты на получение единицы продукции растениеводства в 2-5 раз превышают энергозатраты в развитых странах. При этом энергозатраты на удобрения и защиту растений в интенсивных технологиях выращивания составляют 32-64 % от общих в зависимости от выращиваемой культуры [2, 3].

Полный отказ от индустриальных методов ведения сельско-хозяйственного производства приводит к резкому падению урожайности, а переход на биологическое земледелие увеличивает энергозатраты. Все это обуславливает необходимость поиска, разработки и применения альтернативных экологически безопасных энергосберегающих механизированных технологий выращивания сельскохозяйственных культур, а также соответствующего оборудования для их реализации [4, 5].

Одним из перспективных направлений выхода из сложившейся ситуации является интегрированное использование в сельскохозяйственном производстве альтернативных биотехнологических операций как составляющих постиндустриальных технологий, которые связаны по принципу биоконверсного комплекса [6, 7, 8, 9].

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ БИОКОНВЕРСНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Биоконверсный комплекс – это система ведения биологизованного сельскохозяйственного производства в условиях конкретного агробиоценоза многоотраслевого сельскохозяйственного предприятия или целого агроландшафта, которая базируется на использовании интегрированных в производственные процессы специализированных техноценозов для максимально возможной с эколого-экономической точки зрения биотехнологической переработки всех органических отходов (нетоварной биомассы) для последующего полного или частичного возвращения преобразованной биомассы в производственные процессы с целью уменьшения энергетических расходов производства, полного или частичного устранения негативного действия производства на окружающую среду, санации и возобновления плодородия почв, возможности получения биологической продукции [10].

Биоконверсный комплекс кроме использования биотехнологических альтернатив предусматривает использование традиционных агротехнологических операций: выращивание высокопродуктивных районированных сортов растений и пород животных, использования сидератов, соответствующих севооборотов и тому подобное.

Если понятие сельскохозяйственного биоконверсного комплекса получило свое приложение и последующее развитие в прежнем СССР на основе использования теоретических и практических разработок закрытых экосистем гражданской обороны и космических станций [11, 12], то в Западной Европе наиболее перспективным направлением научных исследований и конечной целью развития сельскохозяйственного производства является создание интегрированного земледелия [13].

Интегрированное земледелие является сверхсистемой, в состав которой входят системы правильного (воспроизведенного) почвенного комплекса и окружающей среды, а также инженерная система, которая, в свою очередь, включает комплекс машин и орудий, через которые поступает до 50% энергопоток в агробиоценоз, и систему мониторинга, без функционирования которой о производстве биологической продукции не может быть и речи [13]. В целом, в мире все

более интенсивно проявляются экологически ориентированные процессы трансформации системы аграрного производства.

Если для реализации индустриальных технологий нужны четкие технологические регламенты и дисциплинированные исполнители, то для постиндустриальных технологий дополнительно необходимы алгоритмы для выбора и реализации системы рациональных технологических операций в конкретных условиях, а также наличие технолога-творца, который пользуясь доступными технологическими, материальными и информационными ресурсами постоянно анализирует, избирает и обеспечивает реализацию рационального (оптимального) технологического варианта [14, 15].

Однако, сельскохозяйственное производство вообще, а также его основные технологии в частности, являют собой сложные биотехнологические процессы, в которых для получения продуктов питания и сырья используются биологические системы высшего порядка – агробиоценоз. Академик Вернадский В.И. указывал на многомерность и пентасиметрию живого вещества [16]. Чрезвычайно высокий уровень сложности и многомерности биологических систем вообще и сельскохозяйственных биотехнологических систем в частности обуславливает невозможность эффективного использования для решения прикладных биотехнологических заданий традиционных методологических подходов. В отличие от биотехнологических процессов производства пищевой и фармацевтической продукции, в которых используются монокультуры и стерильные питательные среды, что позволяет разработать более-менее приемлемую идеальную модель процесса, для разработки большинства сельскохозяйственных биоконверсных процессов используют преимущественно эвристические методы.

Все это обуславливает необходимость разработки системного подхода к созданию и оцениванию сельскохозяйственных технологий вообще и биоконверсных комплексов в частности.

Системный подход – это общенаучное методологическое направление, в рамках которого разрабатываются методы и средства теоретического исследования сложно орга-

низованных объектов (систем), направленные (в отличие от системного анализа) на теоретическое развертывание знания, формирования и развитие специфических предметов научного исследования. Системный анализ – это научное направление, связанное с разработкой методологии развязывания проблем прикладного характера [17]. Единой методики системного подхода и системного анализа в научных исследованиях пока еще нет. В практике исследований он применяется с использованием таких методик: процедур теории исследования операций, которая дает возможность дать количественную оценку объектам исследования; анализа систем исследования объектов в условиях неопределенности; системотехники, которая включает проектирование и синтез сложных систем в процессе исследования их функционирования [18].

Учитывая вышеизложенное, в разрезе проблемы разработки интегрированных биотехнологических процессов и технических средств в составе сельскохозяйственных биоконверсных комплексов под системным подходом понимается использование для решения биотехнологических заданий системы (а точнее – комплекса) взаимосвязанных между собой методов научных исследований в пределах функционирования единой системы “естествознание – технические науки – производство”.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является разработка методологических основ создания сельскохозяйственных биоконверсных комплексов на основе использования системного подхода.

РЕЗУЛЬТАТ ИССЛЕДОВАНИЙ

С целью определения базовых биотехнологических процессов, выполнение которых должно обеспечить стабильное функционирование сельскохозяйственного биоконверсного комплекса, рассмотрим блок-схему типа “отрасль – технологическая операция” полнокомплектного биоконверсного комплекса (рис. 1).

Анализ отечественных и зарубежных действующих сельскохозяйственных биоконверсных комплексов показывает, что базовыми биотехнологическими операциями должна быть, как минимум, взаимоувязанная с реальным агробиоценозом совокупность следующих биотехнологических процессов:

– микробиологическая ферментация (компостирование, аэрирование, метановое сбраживание);

– вермикомпостирование, культивирование беспозвоночных;

– производство и применение энтомологических и микро-биологических препаратов защиты растений.

С целью исследования сельскохозяйственных биоконверсных комплексов проведена их оценка в соответствии с классификацией сложных систем.

Тип системы биоконверсного комплекса:

– по происхождению – смешанная (естественно-искусственная);

– по характеру связи с внешней средой – открытая со значительным влиянием на окружающую среду;

– по сложности – сложная комбинированная система живых и технических (неживых) составных элементов, из которых технические составляющие являются простыми динамическими подсистемами с заданным законом поведения, а живые составляющие имеют системы саморегуляции (гомеостаза) с частично известными или исследуемыми законами поведения (в составе агробиоценоза или техноценоза) и закономерностями, которые находятся вне нашего сознания; по принципу поведения – гомеостатическая с частичным предвидением;

– по степени организованности – комбинированные с технической регуляцией и биологической саморегуляцией;

– по степени ресурсной обеспеченности управления – сложные, энергокритические;

– по описанию переменных – смешанные;

– по способу управления – комбинированные с управлением извне и биологическими системами саморегуляции;

– по количеству операторов системы – непараметрический класс (операторы известны частично).

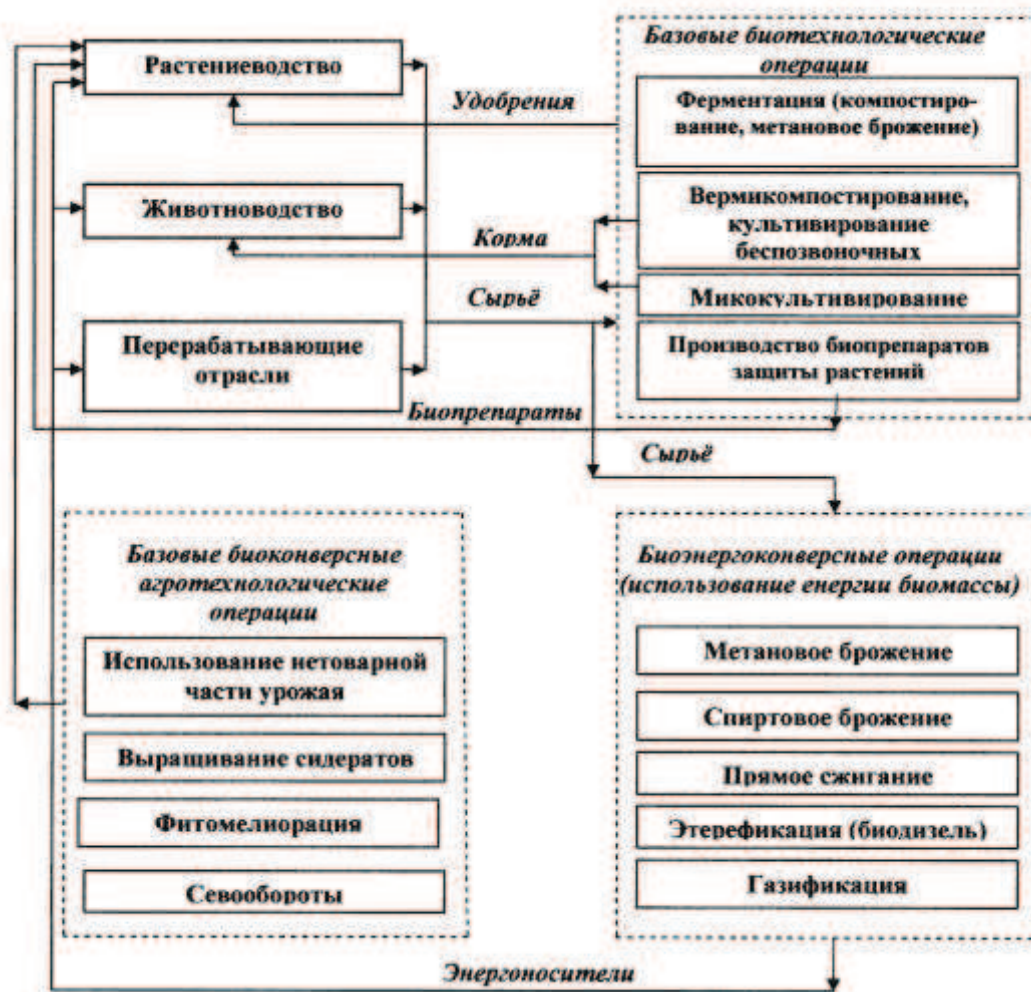


Рис. 1. Блок-схема типа “отрасль – технологическая операция” повнокомплектного биоконверсного комплекса

Fig. 1. Flow-chart of type "industry – technological operation" of fullcomplete bioconversion complex

Предложен вариант системного подхода для разработки биотехнологических процессов и оборудования для их реализации в составе сельскохозяйственного биоконверсного комплекса (рис. 2).

Такой подход базируется на использовании в первую очередь аналитических и лабораторно-производственных исследований, а также гносеологических приемов инженерно-технических исследований (конструирование, проектирование и испытание). Использование системного анализа имеет свои определенные особенности, которые обусловлены спецификой использования биотехнологических альтернатив в сельскохозяйственном производстве.

Для построения идеальной модели биотехнологического процесса на основе экспериментальных данных, на наш взгляд, целесообразно использовать метод синтеза ре-

gressионных моделей, которые не нуждаются в априорном знании структуры модели. Применение этого метода, как показала практика, позволяет получить адекватную модель процесса, которой достаточно для проектирования биотехнологических процессов и оборудования для их реализации [19].

Для построения логистических и компартментальных моделей потоков энергии и веществ используется ценологический подход.

Такой же подход использован и для решения изобретательских заданий с целью устранения биотехнологических и технических противоречий во время проектирования биотехнологических процессов.

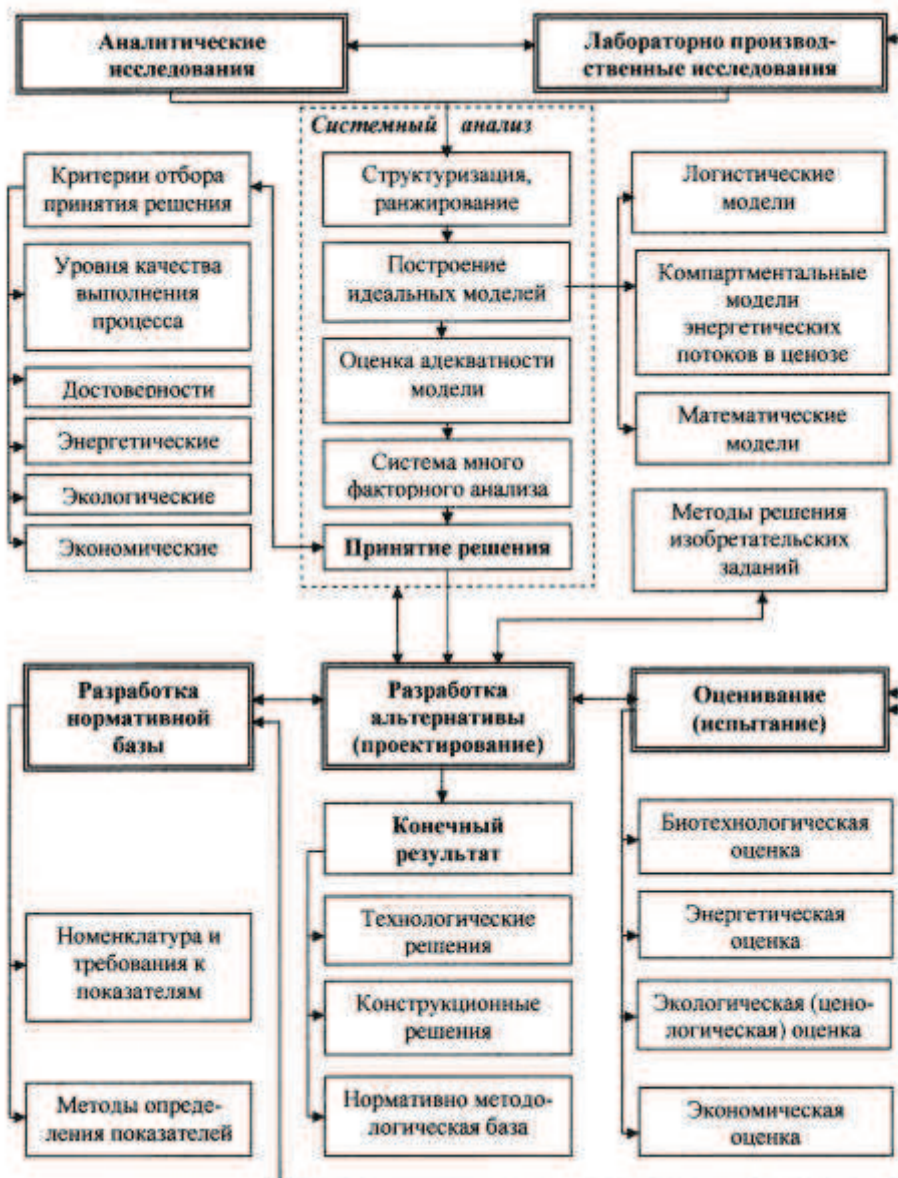


Рис. 2. – Структурная схема системного подхода для разработки биотехнологических процессов и оборудования для их реализации в составе сельскохозяйственного биоконверсного комплекса

Fig. 2. – Flow diagram of the systems approach for development of biotechnological processes and equipment for their realization in composition an agricultural bioconversion complex

Учитывая то, что сельскохозяйственная биотехнология является мультидисциплинарной отраслью знаний, которая интенсивно развивается из-за наличия социальных потребностей, в состав системного подхода также включена разработка нормативной базы (номенклатуры и требований к показателям качества выполнения биотехнологического процесса).

На основе анализа структурной схемы системного подхода и показателей функционирования существующих биоконверсных

комплексов был предложен алгоритм разработки биотехнологической составляющей биоконверсного комплекса, в основу которого положен ценологический подход к определению перечня основных (базовых) биотехнологических операций и их основных параметров, а также к подбору или разработке необходимого технологического оборудования. Основная цель разработки биоконверсного комплекса – повысить эффективность биологического производства сельскохозяйственной продукции путем комплексного

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ БИОКОНВЕРСНЫХ КОМПЛЕКСОВ

использования биотехнологических операций для достижения синергического эффекта за счет возобновления малого круговорота веществ в агробиоценозе. Основной особенностью разработки биоконверсных комплексов, как и любых сложных биотехнических систем, является наличие значительного количества факторов влияния. Лишь незначительная часть (до 10 %) таких факторов является детерминированными, то есть такими, которые имеют четко определенную зависимость и могут быть рассчитаны. Большинство же зависимостей имеют стохастический характер с высокой степенью неопределенности.

Поэтому в настоящее время разработка сложных биотехно-логических систем как у нас в стране, так и за рубежом носит преимущественно эвристический характер. Вследствие этого большинство разработок сельскохозяйственных биотехно-логических процессов нуждаются в значительной доработке, а, как минимум, над каждой третьей из них работы прекращаются из-за неработоспособности процесса или негативных последствий его использования.

Обуславливая общие требования к созданию биоконверсных комплексов, следует учитывать, что:

- необходимо придерживаться экологических законов существования агроландшафтов как категории экосистем;
- увеличение структурированности производственной системы биоконверсного комплекса приводит к повышению ее стойкости;
- производственной системой биоконверсного комплекса является не отдельное сельскохозяйственное производство, а целый агроландшафт, который включает комплекс производств;
- в производственную часть биоконверсного комплекса должны быть включены, как дополнительные звенья агробиоценоза, биотехнические системы с высокой концентрацией биологических агентов (ферментативные установки переработки биомассы на биогаз, культивационные боксы для вермикомпостирования, оборудование для производства энтомологических и микробиологических препаратов и тому подобное);

– агробиоценоз биоконверсного комплекса должен иметь в своем составе соответствующие автотрофные и гетеротрофные звенья для локализации и выведения из малого круговорота веществ метаболитов, токсинов и внешних поллютантов.

Общий алгоритм разработки биотехнологической составляющей биоконверсного комплекса

Этап 1. Сбор и анализ начальных характеристик:

- существующие технологии производства сельскохозяйственной продукции;
- состояние почв, предыстория их использования;
- реальный потенциал органосодержащих отходов (вторичного сырья, пригодного для биоконверсной переработки);
- определение реально возможных размеров и направления производства разрабатываемого биоконверсного комплекса.

Этап 2. Разработка технологического проекта биоконверсного комплекса:

- построение и анализ ценологических, компартментальных и биоэнергетических моделей конкретного биоконверсного комплекса;
- выбор базовых биотехно-логических операций;
- определение объемов производства и основных параметров базовых биотехнологических операций;
- разработка варианта техноценоза биотехнологической составляющей с использованием экспертной системы многофакторного анализа для выбора технологий и оборудования для использования биотехнологических альтернатив в сельскохозяйственном производстве.

Этап 3. Анализ результатов внедрения биоконверсного комплекса в начальный переходный период и внесение корректив в базовые биотехнологические процессы:

- определение реальных показателей функционирования биоконверсного комплекса;
- определение реальных производственных показателей реализации биотехнологических процессов;

– внесение технологических и технических корректив в биотехнологические процессы (при необходимости).

Принципиальная схема алгоритма разработки биотехнологической составляющей биоконверсного комплекса представлена на рис. 3.

Параметры и зависимости, которые контролируются в процессе разработки биоконверсного комплекса

1. Соответствие основному экологическому закону перехода энергии из одного звена трофической цепи в следующее (не больше 10%).

Параметр относительной оценки (δ) перехода энергии рассчитывают по формуле:

$$\delta = E_n / E_{n-1} \approx 0,1, \quad (1)$$

где: E_n – энергосодержание биомассы предыдущего звена трофической цепи, ГДж/га; E_{n-1} – энергосодержание биомассы следующего звена трофической цепи, ГДж/га.

2. Обеспечение оптимального (близкого к естественному) соотношения биомасс разных групп организмов агробиоценоза, которое предусматривает наличие микроорганизмов – 90 %, беспозвоночных – 9 %, позвоночных – 1 %.

3. Соответствие требованиям создания оптимального техноценоза биоконверсного комплекса [10]:

$$E_1 \geq (k_2 / k_1) E_2, \quad (2)$$

где: E_1 и E_2 – энергетические эквиваленты антропогенной энергии, овеществленной в машинах и оборудовании для возобновления плодородия почвы и получения урожая, соответственно; k_1 и k_2 – коэффициенты дегумификации и гумификации почвы.

4. Обеспечение соответствующей степени гомеостаза за счет использования биотехнологических операций [20, 21, 22]:

$$G = \frac{\Delta V}{V} / \frac{\Delta Y}{Y} \geq 1, \quad (3)$$

где: G – степень гомеостаза биоконверсного комплекса; V – содержание гумуса в почве, %; ΔV – изменение содержания гумуса в почве под воздействием использования биотехнологических операций, %; Y – расходы невозобновляемой энергии (энергия топ-

лива; энергия овеществленной в средствах механизации, минеральных удобрениях, пестицидах и тому подобное), ГДж/га; ΔY – изменение расходов невозобновляемой энергии за счет использования биотехнологических операций, ГДж/га.

Оптимальным является агротехноценоз, имеющий такой комплекс технологий, машин и оборудования, который, с одной стороны, по своим совокупным функциональным показателям обеспечивает выполнение поставленных задач (получение биологической продукции, сохранения и воссоздания плодородия почвы, более полное использование её биологического потенциала), а с другой – характеризуется энергетическим эквивалентом антропогенной энергии (воплощенной в машинах и оборудовании для возобновления плодородия почвы и тому подобное), который является равным или большим, чем энергетический эквивалент антропогенной энергии, овеществленной в машинах и оборудовании для получения урожая, и который прямо зависит от соотношения коэффициентов дегумификации и гумификации, характеризующих агротехнологию по ее влиянию на содержание гумуса в почве, при условии (2).

При разработке сельско-хозяйственных биоконверсных комплексов необходимо принимать во внимание следующие стратегические принципы:

– подбор и разработка соответствующих машин, агрегатов и оборудования не по отдельным технологическим операциям, а в системе, как составляющей части научно обоснованных технологий выращивания культур;

– создание интегрированной биотехнологической системы мобилизации и восстановления биологического потенциала почв путем внедрения комплексов машин для мониторинга и реализации эффективных агротехнологий на основе использования нетоварной части урожая, производства и использования биогумуса, органоминеральных смесей и биопрепаратов;

– индустриализация технологий производства альтернативных удобрений и биопрепаратов для обеспечения их многотоннажного производства и снижения себестоимости;

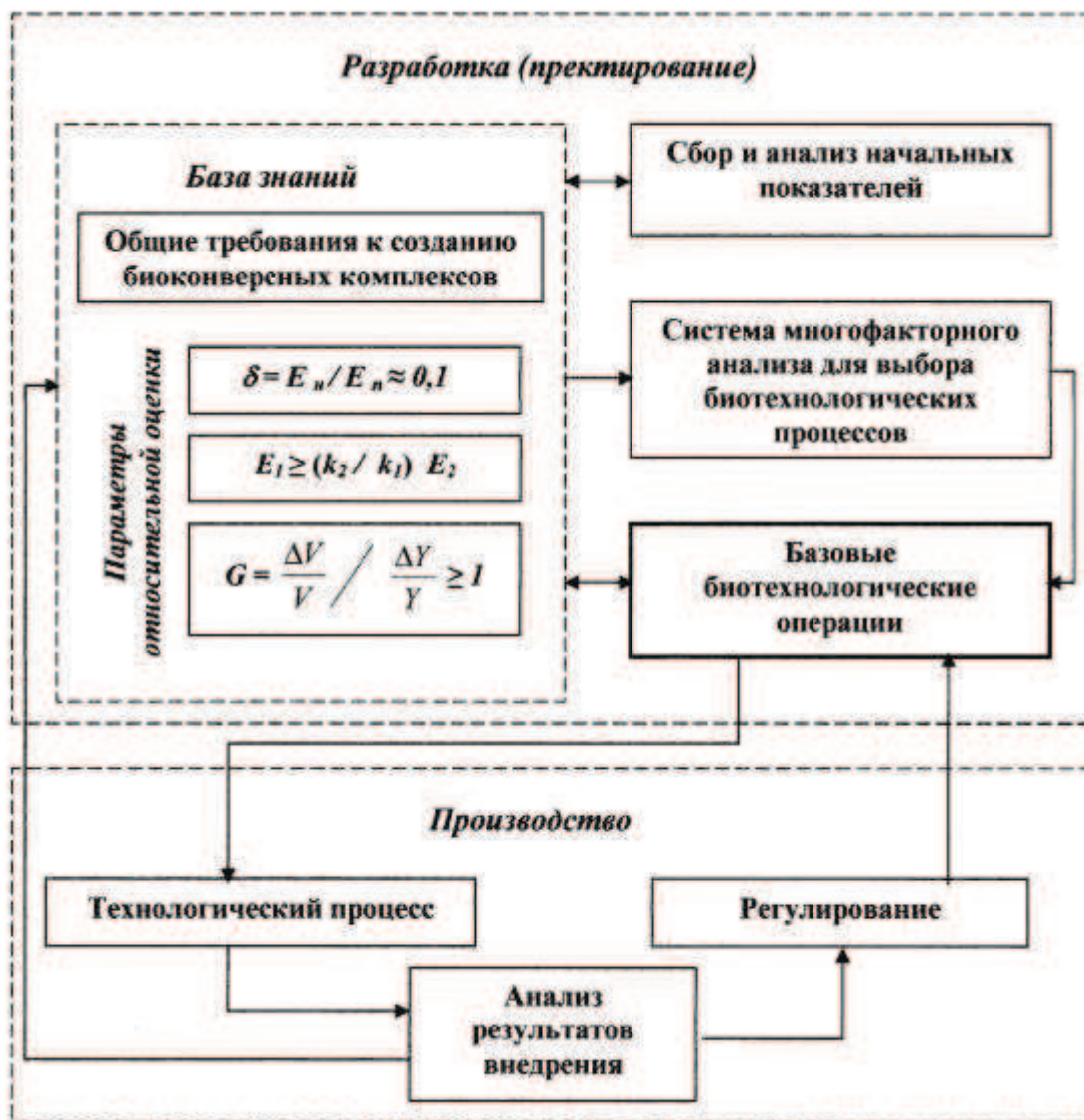


Рис. 3. – Алгоритм разработки биотехнологической составляющей биоконверсного комплекса

Fig. 3. – Algorithm of biotechnological constituent bioconversion complex development

Правило разработки техноценозов биологического сельскохозяйственного производства

– обязательный учет последних достижений агроэко-логической науки, в частности, изученный биохимический механизм гумусообразования и саморегулирования почвенного плодородия, а также применения технологического приема вынесения микробиологических процессов гумификации и накопления гумуса в почвах, которые осуществляются в течение десятков и сотен лет, на промышленные площадки, где аналогичные процессы протекают в ферментативных системах в течение 5-40 суток, с дальнейшим

внесением в почву полученных биогумусов для ускоренного восстановления плодородия.

ВЫВОД

Таким образом, предложенный вариант системного подхода к разработке биотехнологических процессов для их реализации как составляющей биоконверсного комплекса базируется на использовании ценологического подхода, аналитических и лабораторно-производственных исследований, а также гносеологических приемов инженерно-технических исследований (конструирова-

ние, проектирование и испытания). Указанные методологические основы позволяют формализовать процесс разработки и использования биотехнологических операций, а также устранить возможные ошибки существующего эвристического подхода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Mason John. 2003: Sustainable agriculture. 2nd ed. / John Mason – Landlinks Press. – 212.
2. Drincha V.M. 2003: Kontseptualnyye i metodicheskiye aspekty strategii razvitiya mekhanizatsii selskogo khozyaystva. – M.: Ros-selkhozakademiya. – 60.
3. Medvedovskiy O.K. 1988: Yenergetichniy analiz intensivnikh tekhnologiy v silskogospodarskomu virobnitstvi / O.K. Medvedovskiy, P.I. Ivanenko. – K.: Urozhay, – 2008 – (Seriya: Yekonomiya i berezhlivist).
4. Novitni 2010: Novitni tekhnologii bioyener-gokonversii: Monografiya / Ya.B.Blyum, G.G.Geletukha, I.P.Grigoryuk, V.O.Dubrovin, A.I.Emets, G.M.Zabarniy, G.M.Kaletnik, M.D.Melnichuk, V.G.Mironenko, D.B.Rakhmetov, S.P.Tsigankov – K: "Agrar Media Grup". – 360.
5. Dubrovin V. 2012: Proizvodstvo entomologicheskogo preparata trikhogrammy / V.Dubrovin, G.Golub, O.Marus. – Motrol, 14. – №3. – 9–20.
6. Melnichuk M.D. 2003: Biotekhnologiya rasteniy / M.D. Melnichuk, T.V. Novak, V.A. Kunakh. – K.: Poligrafkonsalting. – 520.
7. Selskokhozyaystvennaya biotekhnologiya. 1998: Ucheb. / V.S. Shevelukha, Ye.A. Kalashnikova. S.V. Degtyarev i dr.: Pod red. V.S. Shevelukhi. – M.: Vyssh. Shkola. – 416.
8. Encyclopedia 2001: Encyclopedia of Physical Science and Technology, 3rd Edition, Biotechnology / Editor Robert A. Meyers – Academic Press Edition: 3rd. – 911.
9. Engineering 2001: Engineering and Manufacturing for Biotechnology Series: Focus on Biotechnology, Vol. 4 / Hofman, M.; Thonart, P. (Eds.) – Springer. – 496.
10. Targonya V. 2010: Algoritm rozroblennya biotekhnologichnoi skladovoi biokonversnogo kompleksu / V. Targonya // Tekhniko-tekhnologichni aspekti rozvitku ta viprobuvannya novoi tekhniki i tekhnologiy dlya silskogo gospodarstva Ukraini: zbirnik naukovikh prats UkrNDIPVT im. L. Pogorilogo. – Vip. 14 (28). – 348–356.
11. Mikrobiologicheskiye 1981: Mikrobiologicheskiye problemy zamknutykh ekologicheskikh sistem / [Gitelzon I.I., Mandkovskiy I.S., Pankova I.N. i dr.]. – Novosibirsk: Nauka, – 197.
12. Pogoriliy L. 2003: Shlyakhi stabilizatsii ta vidtvorennya potentsialu agroyekosistem / L. Pogoriliy, V. Targonya // Visti Akademii inzhenernikh nauk Ukraini. – № 2. – 15–20.
13. Diercks R. 1994: Inteuzierter Landbau / R. Diercks, R. Heitefuss; BLB Verlagsyell – schaft mbH. Munchen. – 432.
14. Rotshteyn O.P. 2008: Soft computing v biotekhnologii: bagatofaktorniy analiz i diagnostika / O.P. Rotshteyn, Є.P. Laryushkin, Yu.I. Mityushkin – Vinnitsya: UNIVERSUM – Vinnitsya, – 144.
15. Flys I. 2010: Engineer project management of production and processing complexes / I. Flys – Motrol, 12. – 75–81.
16. Vernadskiy V.I. 1994: Zhivoye veshchestvo i biosfera / V.I. Vernadskiy – M.: Nauka. – 672.
17. Lemets V.I. 1998: Sistemnyy analiz. Vvodniy kurs / V.I.Lemets, A.D. Tevyashchev – Kharkiv. derzh. tekhn. un-t radioyelekt. – Kh.: – 252.
18. Ladanyuk A.P. 2004: Osnovi sistemnogo analizu / A.P. Ladanyuk – Vinnitsya: Nova kniga. – 176.
19. Ivakhnenko A.G. 1975: Dolgosrochnoye prognozirovaniye i upravleniye slozhnyimi sistemami / A.G. Ivakhnenko. – K.: Tekhnika. – 310.
20. Novoseltsev V.N. 1978: Teoriya upravleniya i biosistemy. Analiz sokhranitelnykh svoystv / V.N. Novoseltsev – M.: Nauka.– 320.
21. Kravchuk V. 2008: Scientific support of development of technologies and technical means for ecologization of agricultural production on the basis of cenological approach / V. Kravchuk, V. Targonya, V. Dubrovin // Biosystems Engineering and Processes in Agriculture: 13-th International Conf. Institute of Agricultural Engineering LUA Raudondvaris, 25-26 September. – 278-284.
22. Frank S., H. Bottcher, P. Havlik, H. Valin, A. Mosnier, M. Obersteiner, E. Schmid, and B. Elbersen (2013) How effective are sustainability criteria accompanying the European Union 2020 biofuel target? GCB Bioenergy, 5(3), 306-314.

**METHODOLOGICAL BASES
OF AGRICULTURAL BIOCONVERSION
COMPLEXES DEVELOPMENT**

Summary. Alternative post-industrial direction of agricultural production problems decision due to integrated use of biotechnological alternatives is considered. Methodology of agricultural technologies development by type of bioconversion complex is offered. The variant of systems approach and algorithm of agricultural bioconversion complexes engineering are worked out allowing to remove the existing heuristic methods drawbacks.

Key words: agricultural post-industrial technologies, bioconversion complex, biotechnological processes, systems approach, development algorithm.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ МОДЕЛЬНОЙ БИОТЕХНОЛОГИИ МИКОБИОПРЕПАРАТОВ ОРГАНИЧЕСКОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Максим Мельничук¹, Валерий Дубровин¹, Виктор Теслюк¹, Евгениуш Красовски²

¹*Національний університет біоресурсів і природопольовання України,*

Україна, г. Київ, ул. Героїв Оборони, 15

²*Польська академія наук*

Польща, г. Люблін, ул. Велкопольська, 62

Maksym Melnychuk¹, Valeriy Dubrovin¹, Victor Tesyluk¹, Eugeniusz Krasowski²

¹*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine

²*Polish Academy of Sciences*

Wielkopolska Str., 62, 20-725 Lublin, Poland

Аннотация. Изложена актуальность разработки технологии и технического обеспечения производства микобиопрепаратов на основании элиситоров полисахаридной природы – хитина и глюканов. Рассмотрены современные представления о ключевых механизмах индукции устойчивости растений. Представлена технологическая схема модельной биотехнологии получения полисахаридов из клеточной стенки гриба трутовика настоящего.

Ключевые слова: биотехнологический процесс, полисахариды, хитин, хитозан, глюканы, гриб трутовик настоящий.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Экологическое сельское хозяйство (или, как его еще называют, альтернативное, или органическое земледелие) - является актуальной формой хозяйствования, при которой определяющим является сохранение естественных основ жизни и природных ресурсов. Тенденция потребления органической сельскохозяйственной продукции в мире в последние десятилетия показывает стабильное увеличение, хотя в определенные кризисные годы рост замедлился. Соответственно, на повышенный спрос органических продуктов, отреагировали и производители сельскохозяйственной продукции. В результате анализа аграрных технологий органического земледелия установлено, что одной из основных причин медленного развития производства органической продукции растениеводства есть отсутствие материальных ресурсов, особенно экологически безопасных

средств защиты растений [1]. Поэтому продукция которая представлена на рынок, выращивается без применения таких средств, а значит растения подвергаются негативному влиянию стрессовых факторов, что значительно повышает риски потери урожайности. В этой ситуации растения защищаются за счет их естественной устойчивости.

В то же время, в традиционном земледелии, сельскохозяйственные растения в период своего роста также постоянно находятся в условиях экологического стресса, который вызван влиянием вредных патогенов, нерегламентированным внесением пестицидов, удобрений и других неблагоприятных факторов. Для повышения адаптивных свойств, продолжения вегетации, и формирование урожая, растения, запускают механизмы защитных реакций. В процессе развития и распространения болезней выше порогового значения, растения не способны им противостоять, что приводит к ежегодным потерям урожая от вредителей, болезней и сорняков на 30 – 50% [2, 3]. Поэтому, защита растений от вредителей и болезней в технологическом процессе выращивания растениеводческой продукции является одной из кардинальных проблем современного сельскохозяйственного производства. Применение синтетических препаратов вызывает потенциальную и реальную опасность загрязнению окружающей естественной среды. Отсюда приоритетным является разработкой и созданием новейших, экологически безопасных и высокоэффективных биотехнологий защиты культурных растений от болезней [4, 5].

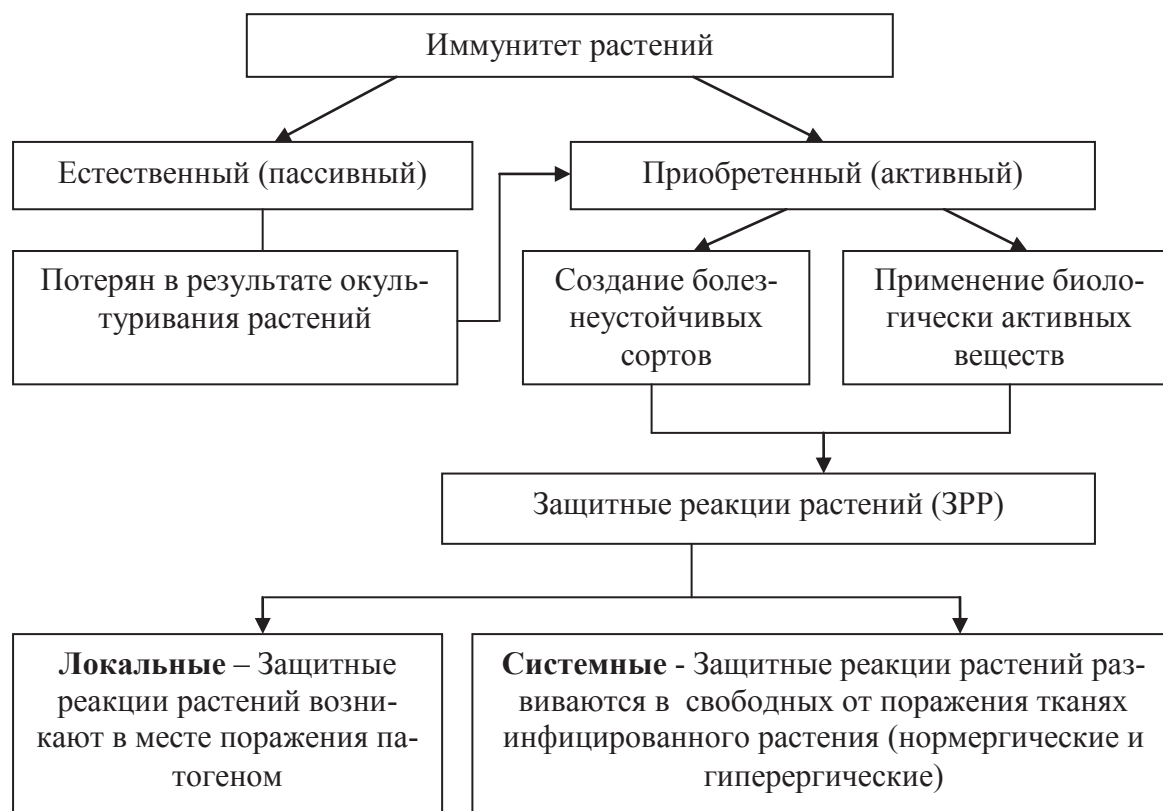


Рис. 1. Биологические основы устойчивости растений
Fig. 1. Biological bases of stability of plants

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Современный уровень знаний молекулярно-генетических основ иммунитета растений открывает новые возможности повышения устойчивости растений к патогенам за счет стимулирования и управления иммунной системой (рис. 1) [6, 7, 8].

Хотя, защитные (конститутивные и индуцированные) механизмы растений к фитопатогенам известны около 100 лет, практическое значение оно начало приобретать только в самые последние десятилетия [9, 10, 11]. Одним из самых распространенных и самых эффективных на сегодняшний день приемов получения экологически чистого урожая есть создание стойких к комплексу биотических и абиотических стрессов сортов культурных растений. Создание и внедрение болезнеустойчивых сортов растений характеризуется высоким биологическим потенциалом урожайности. Однако, это очень длительный процесс и патогенные микроорганизмы преодолевают созданные им преграды и производят гены вирулентности к генам стойкости намного быстрее, чем со-

здаются новые стойкие сорта растений, к тому же новые расы патогенных организмов становятся более агрессивными. Кроме того, основная ориентация создания новых сортов сельскохозяйственных растений направлена на повышение их урожайности, приводит к значительному снижению устойчивости против вредных патогенов и других стрессовых факторов. Поэтому идут поиски новых методов защиты от болезней и других стрессовых факторов, более совершенных по сравнению с традиционными подходами и экологически безопасных для органического земледелия.

Целенаправленные поиски новых методов защиты растений от болезней показали, что растительные организмы обладают широким спектром защитно-приспособительных реакций, способствующих развитию их устойчивости к разнообразным стрессовым факторам внешней среды. В растениях содержатся гены устойчивости против поражения вредными организмами, реакция сверхчувствительности которых в процессе окультуривания и повышения производительности растений частично потеряна. Поэтому одним из актуальных и эффективных путей активации механизмов устойчивости растений



Рис. 2. Индуцирование защитных механизмов растений биологически активными веществами

Fig. 2. Inducing of nocifensors of plants by bioactive matters

против вредных организмов есть применение биологически активных веществ биогенной и абиогенной природы (рис. 2).

В результате анализа научной литературы в области индуцирования устойчивости растений к неблагоприятным факторам установлено, что природные полисахариды микробного и растительного происхождения участвуют в защите растений от болезней. Это привело исследователей к мысли, что в природе существуют такие полисахариды, багатовариантность которых по молекулярной массе и химической структуре обеспечивает включение генов защиты и синтез антипатогенных фитопрофилактиков - фитоалексинов в обработанных ими растений. В результате исследования значительного количества биологически активных веществ на индуцирующую антигрибную активность, ученые пришли к выводу, что одним из лучших аналогов элиситоров бактериального, грибного и растительного происхождения, который относится к классу полисахаридов, оказался полиаминосахарид хитозан - производное хитина.

Полисахариды хитин, его производное хитозан и глюканы, которые владеют эли-

ситорными свойствами, принимают участие в защите культурных растений от болезней путем включения генов защиты и биосинтеза антипатогенных фитопрофилактиков – фитоалексинов.

Полученные теоретические и практические результаты эффективности этих полисахаридов позволили нам разработать биотехнологию получения биополимеров и предложить современные препараты на основе грибных глюканов.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Повышение эффективности выращивания сельскохозяйственных культур в условиях органического земледелия путем разработки на основании анализа и обобщения мирового и отечественного научного опыта индуцирования защитных механизмов растений с применением биологически активных веществ полисахаридной природы, модельной биотехнологии производства микобиопрепаратов для защиты сельскохозяйственных культур от болезней и широкого внедрения экологически чистого агропроизводства.

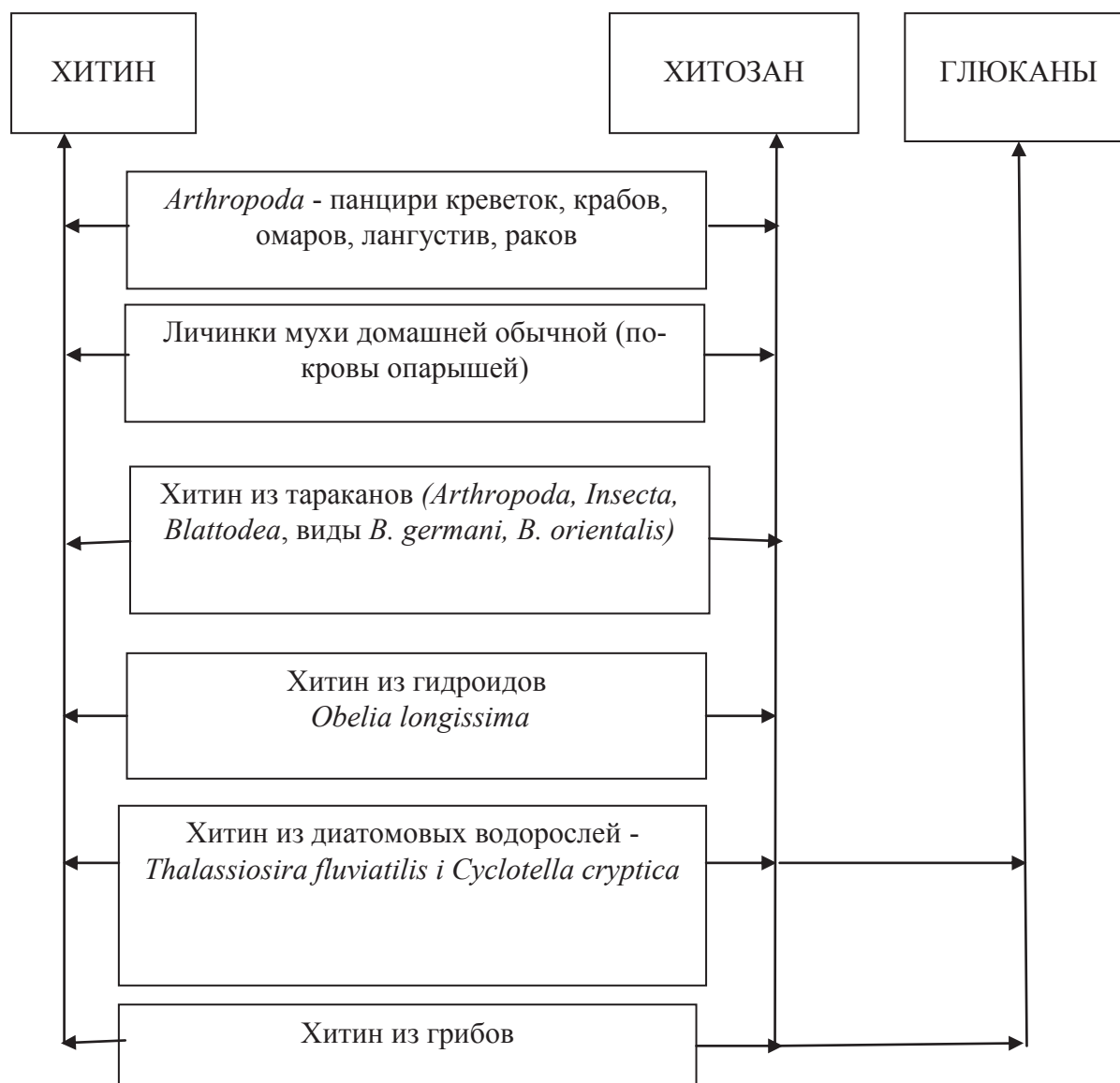


Рис. 3. Источники получения полисахаридов хитина, хитозана, и глюканов
Fig. 3. Sources of receipt of polysaccharidess of chitin, chitosan, and glukano

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основным сырьем и совершенной технологией получения полисахаридов хитина и хитозана является использование Arthropoda - панцирей креветок, крабов, омаров, лангустов и раков (рис. 3)[12, 13].

Однако, существенным недостатком промышленного применения такого сырья является то, что панцири ракообразных достаточно дорогое сырье, цена которого зависит от сезонности и связана с возрастом и видом краба. Это нацелило ученых на поиски других источников получения сырья, в результате чего особого внимания в этом от-

ношении заслуживают мицелиальные грибы (*Fungi*) [14, 15].

Одним из перспективных и актуальных сырьевых источников получения полисахаридов хитина и хитозана являются высшие базидиальные грибы, которые до настоящего времени исследованы лишь фрагментарно.

С учетом научных и технико-экономических характеристик по выбору сырья наибольшей степени оптимальным критериям удовлетворяет гриб трутовик настоящий (*Fomes fomentarius* (L. Fr.), Gill) [16,17,18].

В условиях Украины он распространен по территории лесных хозяйств, главным образом на мертвых стволах, сухостойных де-

ревьях и пнях всех видов березы, тополя, ольхи, режы ясеня, липы, дуба, ивы и других лиственных древесных растений. Заготовку плодовых тел грибов осуществляют в природных экосистемах в течение года. Для обеспечения проведения технологических операций по переработке, включающие сушки, хранения и измельчения, определяют качественные показатели плодовых тел грибов, которые формируются за этот промежуток времени. Плодовые тела гриба, как органическое сырье измельчают и в дальнейшем экстрагируют, характеризуются свойствами грибного вещества, которое сформировалось естественным путем на растущих, сухих древесных растениях и пеньках. Грибное вещество - это полисахариды (хитин, целлюлоза, глюканы), выполняющие опорную функцию в клеточной стенке гриба трутовик настоящий, а также биополимеры, которые составляют матрикс.

Проведенные исследования позволили разработать биотехнологию производства и применения микобиопрепаратов - активаторов устойчивости сельскохозяйственных культур против болезней для повышения эффективности их выращивания (рис. 4).

Доказано, что в биогенных индукторов повышения устойчивости растений от вредных организмов относятся полисахариды трутовика настоящего (*Fomes fomentarius* (L. Fr.), Gill.): хитин, хитозан и глюканы. На основе современных знаний о биологически активных полисахаридах грибов и индуцированной устойчивости растений нами разработана модельная биотехнология получения полисахаридов из клеточной стенки гриба трутовика настоящего, которые являются действующим веществом микобиопрепаратов [19,20].

Применение рекомендовано нами для обработки семян и растений в период вегетации пшеницы яровой и озимой, ячменя, кукурузы, гороха, сои, сахарной свеклы, подсолнечника, плодовых и овощных культур. Высокая эффективность, безопасность для человека и окружающей среды, а также низкая стоимость микобиопрепаратов открывает широкие перспективы для перехода производства продукции растениеводства на принципиально новые экологические и экономические уровни.

ВЫВОДЫ

1. Экологические стрессы, негативное влияние вредных объектов приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур на 30% и более, что вызывает необходимость проведения защитных мероприятий растений. Перспективным направлением в разработке и использовании препаратов для защиты растений от болезней является стимуляция защитных механизмов растений за счет использования микобиопрепаратов на основе хитин-глюкановых комплексов грибного происхождения.

2. На основе современных знаний разработана модельная биотехнология получения грибных полисахаридов из клеточной стенки гриба трутовик настоящий - *Fomes fomentarius* (L. Fr.), Gill), что является основным действующим веществом микобиопрепарата микосан, который рекомендуется для обработки семян и опрыскивания вегетирующих растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tekhnologichni 2010: Tekhnologichni osnovi stvorenniya kompleksnoi pilotnoi biofabriki dlya biozemlerobstva Starchevsky, Valeriy Dubrovin, Igor Starchevsky] // MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. Motorization and power industry in agriculture. – Lublin: – Tom 12 B. – 43 – 48.
2. Dovidnik 2001: Dovidnik iz zakhistu roslin / [L.I. Bublik, G.I. Vasechko, V.P. Vasilev ta in.]; za red. M.P. Lisovogo. – K.: Svit. – 448.
3. Fedorenko V.P. 2004: Integrovaniy zakhist silskogospodarskikh kultur v Ukraini / V.P. Fedorenko // Integrovaniy zakhist roslin na pochatku KhKhI stolittya. Materiali mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferentsii. Institut zakhistu roslin. – K.: Kolobig. – 3 – 28.
4. Melnichuk M.D. 2011: Metodologichni i biotekhnologichni osnovi indukuvannya mekhanizmiv zakhistu roslin vid khvorob (naukovi osnovi i rekomendatsii) / [M.D. Melnichuk, V.V. Teslyuk, V.O. Dubrovin, I.P. Grigoryuk, V.F. Kaminskiy, I.I. Koshevskiy, V.V. Redko, O.A. Boyko Yu.V. Kolomiets]. –



Рис. 4. Технологическая схема производства микобиопрепаратов на основе полисахаридов хитина и глюканов с трутовика настоящего

Fig. 4. Flowsheet of production of микобиопрепаратов on the basis of polysaccharides of chitin and глюканов from tinder real

К.: Vidavnichiy tsentr NUBiP Ukraini. – 41.

5. Biotekhnologichna 2011: Biotekhnologichna kontseptsiya oderzhannya i vikoristannya polisakharidiv iz griba trutovik spravzhniy (*Fomes fomentarius* (L. Fr.), Gill.) dlya induktsii zakhisnikh mekhanizmiv kulturnikh roslin vid khvorob / [V.V. Teslyuk, M.D. Melnichuk, I.P. Grigoryuk, V.O. Dubrovin] //

Ovochivnitstvo i bashtanstvo. Mizhvidomchiy tematichniy naukoviy zbirnik. – Kh.: NAAN Ukraini, Institut ovochivnitstva i bashtanstva. – Bip. 57. – 87 – 102.

6. Tyuterev S.L. 2002: Nauchnyye osnovy indutsirovannoy bolezneustoychivosti rasteniy / S.L. Tyuterev. – Sank Peterburg: OOO «ITsZR» VIZR. – 328.

7. Shakirova F.M. 2001: Nespetsificheskaya ustoychivost rasteniy k stressovym faktoram i yeye regulyatsiya / F.M. Shakirova. Ufa: Gilem. – 160.
8. Metlitskiy L.V. 1985: Kak rasteniya zashchishchayutsya ot bolezney / L.V. Metlitskiy, O.L. Ozeretskoyevskaya. – M.: Nauka. – 192.
9. Tarchevskiy I.A. 2000: Elisitor-indutsiruyemye signalnyye sistemy i ikh vzaimodeystviye / I.A. Tarchevskiy // Fiziologiya rasteniy. – 47. – 321 – 331.
10. Ozeretskoyevskaya O.L. 1999: Indutsirovaniye ustoychivosti rasteniy / O.L. Ozeretskoyevskaya // Agrarnaya Rossiya. – № 1. – 4 – 9.
11. Gorovoy L.F. 2004: Indutsirovannaya ustoychivost i razrabotka preparatov novogo pokoleniya dlya zashchity rasteniy / L.F. Gorovoy // Integrovaniy zakhist roslin na pochatku KhKhI stolittya. Materiali mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferentsii. Institut zakhistu roslin. – K.: Kolobig. – 161 – 169.
12. Feofilova Ye.P. 1999: Perspektivnyye istochniki polucheniya khitina iz prirodnykh obyektov / Ye.P. Feofilova, V.M. Tereshina // Novyye perspektivy v issledovanii khitina i khitozana. – M.: – 76 – 78.
13. Khitin 2002: Khitin i khitozan: polucheniye, svoystva i primeneniye / [Pod red. K.G. Skryabina, G.A. Vikhorevoy, V.P. Varlamova]. – M.: Nauka. – 368.
14. Feofilova Ye.P. 1983: Kletochnaya stenka gribov / Ye.P. Feofilova. – M.: Nauka. – 276.
15. Feofilova Ye.P. 1981: Obrazovaniye khitina mikroskopicheskimi gribami / Ye.P. Feofilova // Soobshcheniye I, II. Biol. Nauki. – № 6. – 5 – 20.
16. Gribi 2007: Gribi. Trutovik spravzhniy. Tekhnichni umovi. SOU 01.12-37-554:2007. [Chinniy vid 2007-10-01]. – K.: Minagropolitiki. – 14 – (Natsionalni standarti Ukraini).
17. Teslyuk V.V. 2011: Tekhnologichni osnovi virobnitstva mikrobiopreparativ iz plodovikh til gribiv / V.V. Teslyuk // Visnik agrarnoi nauki. – № 3. – 41 – 43.
18. Patent 2008: Patent na korisnu model № 29953, Ukraina, MPK A01N 63/00, A01N 65/00, A01P 1/00, A01P 3/00. Sposib pidvishchennya stiykosti roslin do khvorob / Goroviy L.F., Koshevskiy I.I., Redko V.V., Teslyuk V.V. Zayavnik i vlasnik Goroviy L.F., Koshevskiy I.I., Redko V.V., Teslyuk V.V.; zayavleno 27.02.2007; opublikovano 11.02.2008, Byul. № 3.
19. Melnychuk M., Dubrovin V., Teslyuk V., Grygoryuk I. 2010: Tekhniko-tehnologichni osnovi virobnitstva mikrobiopreparatu [Maksym Melnychuk, Valeriy Dubrovin, Victor Teslyuk, Ivan Grygoryuk] // MOTROL. Motoryzatsiya i energetyka rolnictva. Motorization and power industry in agriculture. – Lublin: . – Tom 12 B. – 5 – 8.
20. Biofungitsid 2001: Biofungitsid «Mikosan» Tekhnichni umovi. TU U 24.2-23710945.003-2001 (Vvodyatsya vpershe). [Termin dii vid 2001-08-29]. – K.: – 17. – (Derzhavniy komitet Ukraini po standartizatsii, metrologii ta sertifikatsii).

**TECHNOLOGY BASICS
OF BIOTECHNOLOGY
MIKOBIOPREPARATOV MODEL
OF ORGANIC FARMING**

Summary. Presents current technology development and technical support on the basis of production mikrobiopreparatov elicitors polysaccharide - chitin and glucan. The modern idea of the key mechanisms of induction of plant resistance. Is a flow diagram of the model Biotechnology of polysaccharides of the cell wall of the fungus Polypore present.

Key words: biotechnology process, polysaccharides, chitin, chitosan, glucan, mushrooms.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАХВАТА СТЕБЛЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ ВИЛЬЧАТЫМ МЕХАНИЗМОМ

Валерий Дубровин, Александр Еременко, Сергей Выговский

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15*

*Valeriy Dubrovin, Alexander Yeremenko, Sergey Vigovskiy
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Изложен методологический подход к раскрытию физической сути явлений, которые возникают на рабочих органах вильчатого захвата, разработана графоаналитическая модель стеблевых материалов для проведения теоретических исследований технологических процессов. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании технических средств для выполнения погрузочных работ со стеблевой массой.

Ключевые слова: стеблевые материалы, совокупность, вильчатый захват, явления, графоаналитическая модель, процессы, исследования.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Побочная продукция аграрных производств, в частности солома зерновых, крупяных, масличных и др. культур, листостебельная масса кукурузы, подсолнуха, традиционно используется в животноводстве как грубый корм и подстилочный материал, в отапливаемых системах как биосырье, в растениеводстве для защиты почвы от ветровой и водной эрозии, на предприятиях по производству плодов и овощей в закрытом грунте, органических удобрений, грибов, белково-витаминных кормовых дрожжей, вермикултур, целлюлозы, метанола, лигнина и т. д. [1-5].

Для повышения эффективности хранения и транспортировки стеблевые материалы прессуют в прямоугольные и рулонные тюки, плотность которых составляет 90...150 кг/м³, формируют в стога, скирды, плотность которых – 40...85 кг/м³ [3, 5, 6]. Данные совокупности характеризуются неоднородностью структуры и физико-механических свойств стебельных частиц.

Для проведения теоретических исследований процессов взаимодействия рабочих органов машин с совокупностью стеблей целесообразно идеализировать структуру этих материалов. Это можно достичь методом разработки графоаналитической модели стеблевой массы, которая своими технологическими свойствами будет адекватно описывать реальный объект. Такой методологический подход способствует уменьшению влияния случайных факторов, рациональному определению теоретических закономерностей протекания реологических процессов в стеблевых материалах [7, 8].

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

За результатами исследований [4-10] известно, что совокупности соломенных и др. стеблевых материалов сохраняют, в основном, свою форму и структуру на вильчатых рабочих органах за счет связности материала. Анализ научных трудов относительно определения связности стеблей динамометрическим способом [11] свидетельствует о том, что исследовался только слой валка или монолит стеблевой совокупности [3, 6, 12]. Исследователи, как правило, рассматривали внешние факторы процессов [11, 13], а не физическую сущность сцепления стеблей в совокупности. Результаты экспериментов [11, 14] часто содержат противоречия, поэтому для исключения неадекватных выводов их нежелательно применять без уточнения в теоретических исследованиях, конструкционных и технологических расчетах.

Внимания заслуживают аналитические исследования [15] явления связности для обоснования механико-технологических основ проектирования технических средств.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЗАХВАТА СТЕБЛЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ ВИЛЬЧАТЫМ МЕХАНИЗМОМ

Предложена аналитическая модель стеблевой совокупности, которая состоит из стержней-стеблей. При этом сделаны допущения о том, что стержни имеют конечную длину и свойства упругости, ориентированы в пространстве произвольно и не имеют полойной укладки. Выводы этих исследований следующие: увеличения средневзвешенной длины стержней и их количества в единице объема, а также возрастание действия внешних сил повышают связность стеблевой массы.

По результатам исследований [5, 6, 8, 10, 16-19] известно, что в совокупности стеблевой массы в результате механического воздействия рабочих органов машин могут одновременно происходить несколько реологических процессов. Например, длительная механическая нагрузка (давление) вызывает ползучесть и деформацию материала [10, 16, 20], что сопровождается снижением напряжения, т.е. происходит релаксация. При нагрузке меньше граничной стеблевой материал проявляет, в основном, свойства упругости, а при нагрузке больше граничной – характеризуется, как пластическая среда, и его деформация существенно возрастает [6, 8, 16, 17, 20, 21]. Поэтому совокупности растительных стержней (стеблей) можно определить в первом приближении как упруго-пластическая среда [4, 6, 8, 9, 18, 22].

Короткий анализ результатов исследований свидетельствует о том, что связность стеблей в совокупности есть сложным физическим явлением из-за наличия многих случайных факторов и неоднородности стеблевой массы. Недостаточная изученность процесса захвата стеблевой совокупности вильчатыми рабочими органами предполагает дополнительные исследования в этом направлении.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка и обоснование графоаналитической модели стеблевой совокупности, исследования теоретических закономерностей процесса захвата стеблевых материалов вильчатым устройством для повышения эффективности конструкторско-проектных работ по созданию и усовершенствованию по-

грузочно-транспортных механизмов с вильчатыми рабочими органами.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассмотрим захват совокупности стеблей на примере осуществления процесса смежными рабочими органами вильчатого устройства (рис. 1, а, б). Для проведения аналитических исследований процесса выдвинута следующая гипотеза:

рабочие органы (пальцы) проникают под совокупность стеблей, образуя зоны напряженно-деформированного состояния. При подъеме над пальцами возрастают напряжения и деформации, изменяется структура материала между пальцами (рис. 1, в), в частности, стебли изгибаются и смещаются, что приводит к разрушению нижнего слоя и осыпанию частиц, утративших связность с соседними. В верхней области между пальцами стиснутые стебли образуют силовой свод, который обеспечивает целостность всей совокупности.

В основу исследований положены механико-математические методы:

- аналитическое моделирование совокупности стеблей с сохранением их основных естественных свойств;
- аналогии, предусматривающие тождественность уравнений, которые описывают разные явления, но не изменяют их сути;
- математическое моделирование системы “стебли – совокупность – захватное устройство” с решением дифференциальных уравнений.

Для определения теоретических зависимостей между рабочими органами и материалом разработана графоаналитическая модель совокупности стеблей, которая своими свойствами отображает реальный объект и характеризуется следующими допущениями:

1 - структура модели воспринимается как совокупность стержней, имитирующих стебли, расположенных горизонтальными слоями;

2 - стержни имеют одинаковую длину l_c и диаметр d_c , упруго пластичные свойства и поддаются сжатию в поперечном пересечении;

3 - пространства между стержнями заполнены шариками, имитирующими мелкую фракцию, долю которой определяют для конкретного материала;

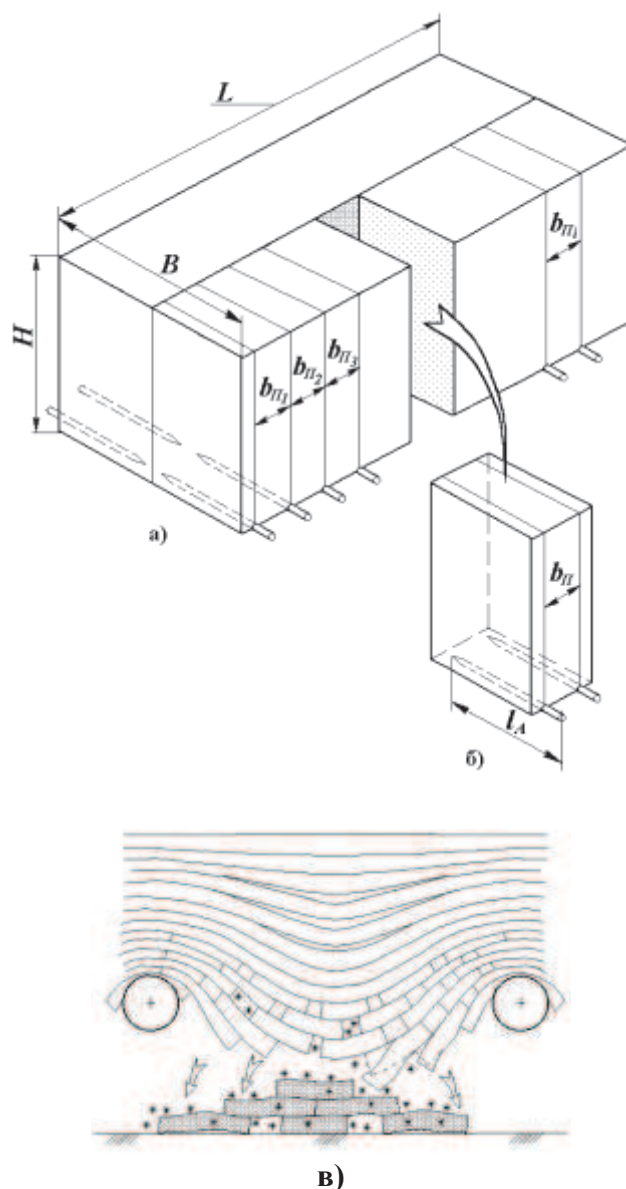


Рис. 1. Схема захвата совокупности стеблей (а) и ее части (б) вильчатым механизмом; в – зависание стеблей на пальцах
Fig. 1. Chart of capture of aggregate of stems (a) and her part (б) by the forked mechanism; в is hanging up of stems on fingers

4 - размеры стержней значительно меньше размеров совокупности, поэтому структуру модели, при необходимости, можно заменить равнозначной в механическом понимании сплошной средой;

5 - сила трения частиц модели по поверхности рабочих органов пропорциональна нормальной силе, а угол трения стержней равняется углу естественного укуса.

Вероятные способы размещения стержней модели в поперечном разрезе (рис. 2, а, б) определяются “углом давления” ψ [18, 22] между осью направления подъема совокупности и общей нормалью к стержням в точке их контакта. Угол ψ изменяется от 0° до 60° .

В предельном случае при $\psi = 60^\circ$ (рис. 2, а) общая нормаль к стержням 1 и 2 в точке их контакта совпадает по направлению с силой. Поэтому стержень 1 действует на стержень 2 непосредственно, без участия боковых сил.

Проведенный анализ свидетельствует, что модель является эквивалентной в механическом понимании реальному объекту, если принять размещение стержней с углом $\psi = 45^\circ$ (рис. 2, б), что в силовом отношении представляет клинчатый механизм [22]. В пространствах между контактными стержнями 1 и 2 размещаются частицы 3, имитирующие мелкую фракцию.

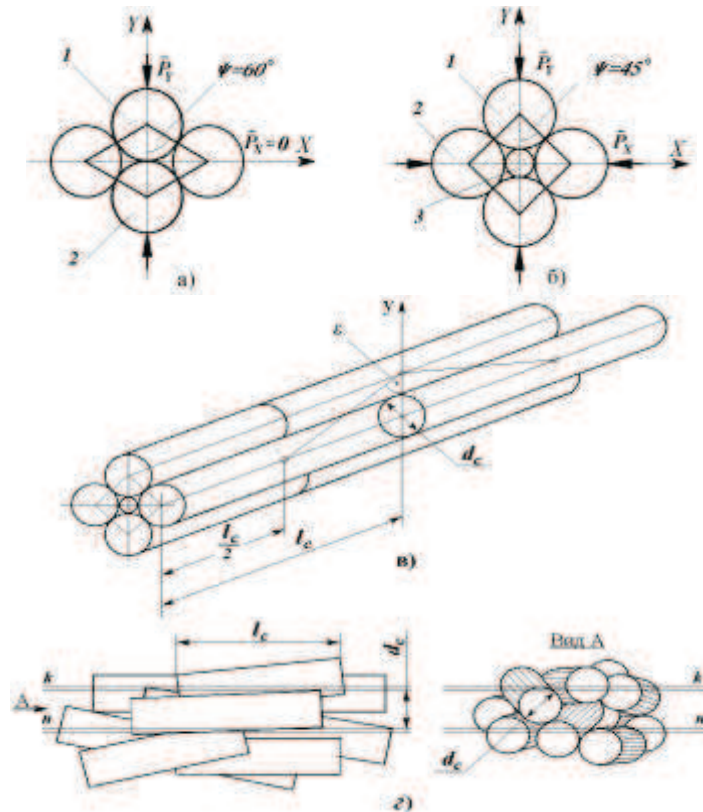


Рис. 2. Схема размещения стержней модели: а, б – поперечное размещение стержней; в – продольное размещение; г – элементарный слой стебел

Fig. 2. Chart of placing of model bars: а, б is the transversal placing of bars; в is the longitudinal placing; г is an elementary layer of stem

В продольной плоскости стержни размещены встык и со сдвигом на половину длины в смежных рядах (рис. 2, в). Угол ε между вертикальной осью Y и линией, соединяющей центры масс стержней, является размерной характеристикой модели. При $\angle \varepsilon \rightarrow 180^\circ$, $l_c \rightarrow \infty$; при $\angle \varepsilon = 90^\circ$, $l_c = 2,8 d_c$ и т. д.

Для обоснования способа укладывания стержней модели выделим в реальной совокупности стеблей плоскостями $k-k$ и $n-n$ (рис. 2, г) элементарный слой толщиной d_c . Стебли выделенного слоя находятся в контакте со смежными, потому каждая пара определяется своими углами ψ и ε . В элементарном объеме осевые \bar{P}_y и боковые \bar{P}_x силы (рис. 2, а, б), а также размеры l_c и d_c , являются определенными величинами и отвечают наиболее вероятным значениям углов ψ и ε . Поэтому угол ψ есть эквивалентом силовой характеристики элементарного слоя, а угол ε - размерной характеристики.

Замена дискретной структуры стеблевого материала сплошной средой (см. допущение 4) позволяет рассматривать нижнюю часть модели как пластину с упруго пластичными свойствами. Тогда после замены действия веса совокупности соответствующей нагрузкой целесообразно применять в исследованиях расчетные методы из теории сопротивления материалов [22].

Обоснованные предположения 1-4 способствуют выяснению физической сути явления действия рабочих органов на стеблевый материал с точки зрения дискретности и непрерывности протекания технологического процесса.

Перемещения стеблей в процессе их захвата сопровождаются трением касательных поверхностей. В реальных условиях трения между частицами материала близко к признакам сухого трения. Поэтому сухое трение между стержнями, когда тангенс угла естественного укуса материала равняется коэффициенту трения “стебель по стеблю” предусматривает допущение 5.

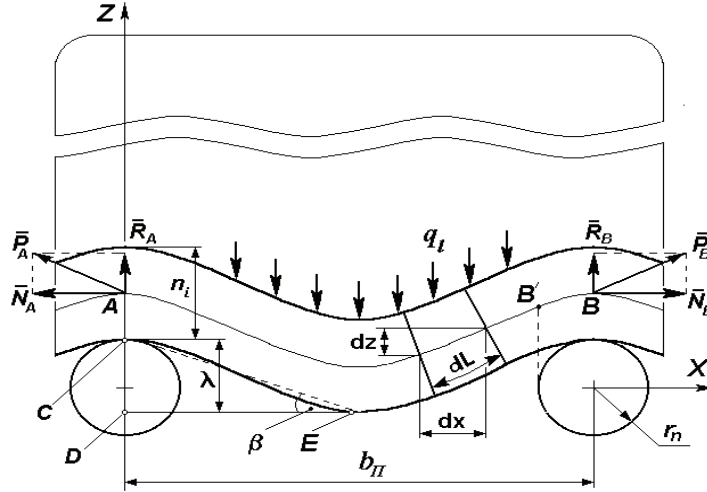


Рис. 3. Расчетная схема к определению условия неразрывности слоя стеблей
Fig. 3. Calculation chart to determination of condition of indissolubility of layer of stems

Таким образом, предложенная модель достаточно полно отражает свойства реального объекта - совокупности стеблей, что позволяет теоретически исследовать захват данного материала с высокой степенью адекватности реальным процессам.

Для определения условия неразрывности нижней части стеблевой совокупности рассмотрим ее изгиб во время захвата. Пусть основа совокупности толщиной n_l изгибается между пальцами на величину λ (рис. 3). Допускаем, что удельная нагрузка q_l неизменна при любом изгибе. Тогда в соответствии с размещением стержней в модели (рис. 2, б) толщина стеблевого слоя $n_l = d_c \cdot \cos \psi$, а $q_l = \gamma_c \cdot l_A (H - i n_l) = \gamma_c \cdot l_A (H - i d_c \cdot \cos \psi)$, где γ_c - объемный вес материала, Н/м³; l_A - длина захватного пальца, м; H - высота совокупности, м; d_c - диаметр стержня, м; i - количество стеблевых прослоек в нижней части совокупности.

Рассмотрим равновесие нижнего слоя по осевой его линии AB (рис. 3). Силы \bar{P}_A и \bar{P}_B являются результатом взаимодействия веса совокупности и реакции пальцев, они направлены по касательной к кривой изгиба. Заменяв силы \bar{P}_A и \bar{P}_B составляющими \bar{N} и \bar{R} , запишем уравнение равновесия:

$$\left. \begin{aligned} \sum x &= \bar{N}_B - \bar{N}_A = 0; \\ \sum z &= \bar{R}_A + \bar{R}_B - q_l \cdot b_{II} = 0; \\ \sum M_B &= \bar{R}_A \cdot b_{II} - 0,5 q_l \cdot b_{II}^2 = 0. \end{aligned} \right\} (1)$$

С уравнения (1) следует, что

$$\bar{N}_A = \bar{N}_B = \bar{N}, \text{ а } \bar{R}_A = \bar{R}_B = 0,5 \cdot q_l \cdot b_{II}. (2)$$

первыми членами, имеем

$$dL_C = \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{dz}{dx} \right)^2 \right] dx.$$

Подставив производную $\frac{dz}{dx} = \frac{q_l \cdot b_{II}}{2\bar{N}} - \frac{q_l \cdot x}{\bar{N}}$, полученную из выражения (3), интегрируем

$$\begin{aligned} L_C &= \int_0^b \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{q_l \cdot b_{II}}{2\bar{N}} - \frac{q_l \cdot x}{\bar{N}} \right)^2 \right] dx = \\ &= b_{II} \left[1 + \left(\frac{q_l \cdot b_{II}}{2\sqrt{6}\bar{N}} \right)^2 \right] \end{aligned}$$

Тогда с учетом (4) длина изогнутого слоя $L_{\bar{N}} = b_i + \frac{8\lambda^2}{3b_i}$, а удлинение его $\Delta L_{\bar{N}}$ между пальцами после подъема совокупности составляет:

$$\Delta L_{\bar{N}} = L_{\bar{N}} - b_i = \frac{q_l^2 \cdot b_i^3}{24\bar{N}^2} = \frac{8\lambda^2}{3b_i}. (5)$$

Как отмечено раньше, изгиб материала между пальцами образуется относительным сдвигом стеблей под воздействием растягивающих сил $\sum \bar{P}_i$, а натяжение нижнего слоя обеспечивают горизонтальные состав-

ляющие $\sum \bar{N}_i$. Сдвигу частиц препятствуют силы связности материала $\sum \bar{S}_i$. Известно [16, 20], что для изогнутых пологих слоев расхождения между наибольшим значением силы P^{\max} и натягом N незначительны.

$P^{\max} \approx N^{\max}$. Учитывая уравнивание растягивающих сил силами связности, допускаем приближенное равенство:

$$N^{\max} \approx P^{\max} \approx S^{\max} \quad (6)$$

Поэтому с достаточной для практических расчетов точностью можно утверждать, что

Наибольшее значение растягивающая сила P^{\max} имеет при $x = 0$; $x = b_{II}$

С учетом равенства (6) математическое выражение для силы связности S^{\max} можно записать

$$P_{\kappa}^{\max} = \sqrt{P_X^2 + P_Z^2} =$$

$$\text{так:} \quad = 0,5q_l \cdot b_{II} \sqrt{\left(\frac{b_{II}}{4\lambda}\right)^2 + 1} \approx S^{\max} \quad (7)$$

Тогда, уравнение (5) с учетом (6) и (7) имеет вид:

$$\Delta L_C = \frac{q_l^2 \cdot b_{II}^3}{24S^2} = \frac{2,67 \cdot b_{II} \cdot \lambda^2}{b_{II}^2 + 16\lambda^2}$$

Для определения величины сдвига δ стержней при изгибе нижнего слоя рассмотрим пространство прямоугольного треугольника CDE (рис. 3) с катетами $(0,5 b_{II}, \lambda)$ и гипотенузой – $0,5L_C = \lambda/\sin \beta$, где β - угол, образованный сторонами CE и DE , град. Причем, угол β близок по величине к углу наклона касательной. Тогда сдвиг стержней в слое составляет:

$$\delta = 0,5(L_C - b_{II}) = \frac{\lambda}{\sin \beta} - 0,5b_{II} \quad (8)$$

Подставив в (8) равенство $0,5b_{II} = \lambda/\operatorname{tg} \beta$ (рис. 3) и проведя математические превращения, получим $\delta = \lambda \cdot \operatorname{tg}(0,5\beta)$. Для предельных значений силы $\bar{S}_{ГР} \rightarrow \bar{S}^{\max}$ до разрыва слоя стеблей имеем $\delta_{ГР} = \lambda_{ГР} \operatorname{tg}(0,5\beta_0)$, где $\lambda_{ГР}$ и β_0 - значения величин λ и β при условии неразрывности.

Исходя из выражения $\operatorname{tg} \beta = 2\lambda/b_{II}$ при $\beta = \beta_0$, имеем $\beta_0 = \operatorname{arctg}(2\lambda/b_{II})$. Учитывая ма-

лую величину угла β_0 , допускаем [20], что $\beta_0 \approx 2 \operatorname{arctg}(\lambda_{ГР}/b_{II})$.

Как видно из проведенных расчетов, изгиб нижнего слоя на угол β_0 происходит в момент, когда внешние разрушающие силы уравниваются силой связности материала. Следовательно, за своей физической сутью тангенс угла β_0 соответствует коэффициенту f_c внутреннего трения стеблей в совокупности, то есть $\operatorname{tg} \beta_0 \approx 2\lambda_{ГР}/b_{II} \approx f_c$.

Приняв допущение о том, что $\operatorname{tg} \beta_0 \approx 2 \operatorname{tg}(0,5\beta_0)$, получаем

$$f_c \approx 2 \operatorname{tg}(0,5\beta_0) \quad (9)$$

Разрыв нижнего слоя при захвате не наблюдается при уменьшении расстояния между пальцами до величины приблизительно равной длине стеблей. Но это способствует увеличению материалоемкости вильчатого механизма, сопротивлению со стороны материала и повышению энергоемкости процесса загрузки. Поэтому расстояние между пальцами устройства целесообразно устанавливать в рациональных пределах, а внутреннее трение (связность) материала должно предупредить текучесть стеблевой массы между пальцами механизма.

Для определения условия неразрывности нижней части совокупности между захватными пальцами воспользуемся соотношением $\lambda_{ГР}/l_C$ [11], так называемого “коэффициента сопротивления разрыва” k_P

$$\text{Откуда } \lambda_{ГР} = k_P \cdot l_C \quad (10)$$

Проведя математические превращения, учитывая (9) и (10), имеем условие неразрывности нижнего слоя стеблей в окончательном виде:

$$\frac{5,3 \cdot b_{II} \cdot k_P \cdot l_C}{f_c [b_{II}^2 + 16(k_P \cdot l_C)^2]} \leq 1 \quad (11)$$

Подставивши в условие (11) значение величин b_{II} и l_C как в реальных процессах, построены (рис. 4) графические зависимости $Y = f(b_{II}, l_C)$ при $k_P = 1,2$ [11].

Как видно из графика (рис. 4), разрыв нижней части измельченных стеблей ($l_C = 0,1$ м) происходит при $b_{II} > 0,22$ м (кривая 1, точка a). С увеличением связности материала (кривая 2) разрыв вероятный при $b_{II} \geq 0,28$ м (точка b). В соответствии с зави-

симостью 3 разрыв нижнего слоя совокупности происходит при средневзвешенной длине стеблей $l_C < 0,14$ м. Это значит, что во время захвата совокупности измельченных стеблей, длина l_C которых не меньше 0,15-0,20 м, при расстоянии между захватными пальцами $b_{II} = 0,3$ м (точка c) нижний слой не разорвется.

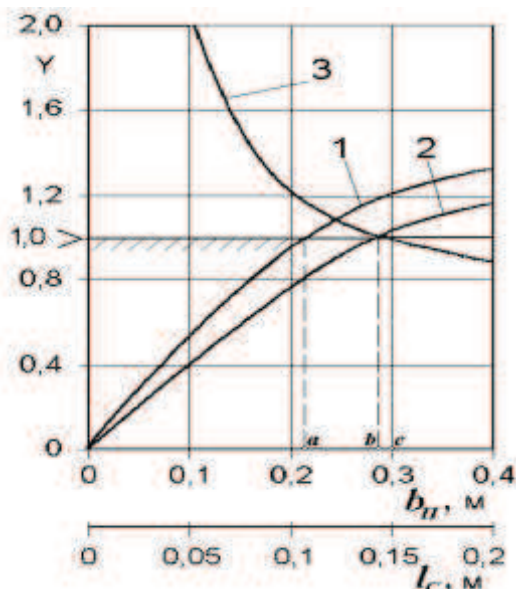


Рис. 4. График условия неразрывности слоя стеблей:

Fig. 4. Chart of condition of indissolubility of layer of stems:

1 - $Y = f(b_{II})$ при $f_C = 0,4$; $l_C = 0,1$ м;

2 - $Y = f(b_{II})$ при $f_C = 0,5$; $l_C = 0,1$ м;

3 - $Y = f(l_C)$ при $f_C = 0,5$; $b_{II} = 0,3$ м;

Y - цифровое значение условия неразрывности (11).

ВЫВОДЫ

1. Неоднородность структуры и физико-механических свойств стеблевых материалов, как побочной продукции аграрных производств, наличие большого количества случайных факторов в технологических процессах, в т.ч. на погрузочно-разгрузочных работах, является основанием разработки графоаналитической модели стеблевой совокупности с обоснованными допущениями.

2. Вильчатые захватные устройства просты по конструкции и технологически надежны, поэтому широко применяются в технических разработках. Вместе с этим, процессы захвата и транспортировки стеблевых материалов с помощью таких механиз-

мов недостаточно изучены, а научно-методические основы для проектирования данных технических средств требуют уточнения и усовершенствования.

3. Изучение явления захвата совокупности стеблей вильчатым рабочим органом позволило описать физику процесса и довести его сложность как результат влияния стохастических величин. Разработанная графоаналитическая модель достаточно полно отражает свойства стеблевой массы, что позволяет проводить теоретические исследования с высокой степенью адекватности реальному процессу.

4. Полученное в результате исследований математическое выражение неразрывности нижнего слоя стеблевого материала позволяет обосновать технико-технологические параметры вильчатого механизма, например, расстояние между захватными пальцами должно быть 0,3-0,35 м для измельченной до 0,1-0,2 м стеблевой массы. Вместе с тем, возникает необходимость исследовать механику разрыва нижней части стеблевого материала при увеличенных геометрических параметрах захвата вильчатых механизмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Steynifort A.R. 1983: Soloma zlakovykh kultur. - М.: Kolos.- 160.
2. Biopaliva 2004: Biopaliva (tehnologii, mashini i obladnannya) / V.O. Dubrovin, M.O. Korchemniy, I.P. Maslo, O. Sheptitskiy, A. Rozhkovskiy, Z. Pastorek, A. Gzhibek, P. Cvich, T. Amon, V.V. Krivoruchko. - К.: TsTI "Energetika i yelektrifikatsiya". - 256.
3. Lipkovich E.I., Zhukov V.Ya., Shabanov N.I. 1984: Kompleksnaya mekhanizatsiya zagotovki solomy i polovy. - М.: Rosselkhozizdat. - 206.
4. Kovalev N.G. 1998: Selskokhozyaystvennyye materialy (vidy, sostav, svoystva) / N.G. Kovalev, G.A. Khaylis, M.M. Kovalev. - М.: Agrarnaya nauka. - 208.
5. Yeremenko O.I. 2004: Udoskonalennyya tekhnologichnogo protsesu ta obgruntuvannya osnovnikh parametriv samozavantazhnogo stogovoza: Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk: 05.05.11 / Nats. nauk. tsentr «In-t mekh. ta yelektr. sil. gosp-va». - Glevakha: - 20.
6. Osobov V.I., Vasilyev G.K., Golyanskiy A.V. 1974: Mashiny i oborudovaniye dlya

- uplotneniya seno-solomistykh materialov. – M.: Mashinostroyeniye. – 232.
7. Yeremenko A.I. 1990: Teoreticheskiye polozheniya protsessa zakhvata stoga vilchatym rabochim organom // Mizhvid. temat. nauk. zb. "Mekhanizatsiya ta yelektrifikatsiya silskogo gospodarstva". – K.: Urozhay. – Vyp. 72. – 23-28.
8. Khaylis G.A. 2002: Mekhanika rastitelnykh materialov. – K.: UAAN. – 374.
9. Nedovesov V.I., Galenko M.D. 1976: K opredeleniyu fiziko-tekhnologicheskikh svoystv nezernovoy chasti urozhaya kak obyektu dlya mekhanizirovannogo skirdovaniya // Mekh. i elektr. sel. khoz-va. – K.: Urozhay. – Vyp. 36. – 38-42.
10. Yeremenko O.I., Kuzmich Ya.A. 2005: Prostorova model povedinki stogu solomistogo materialu na zakhvatnikh paltsyakh pristroyu // Mizhvid. temat. nauk. zb. "Mekhanizatsiya ta yelektrifikatsiya silskogo gospodarstva". – Glevakha: NNTs "IMESG". – Vip. 89. – 328-335.
11. Zhalnin E.V. 1971: Dinamometricheskyy sposob otsenki obshchey svyaznosti solomistykh chastits v sloye // Mekh. i elektr. sots. sel. khoz-va. - M.: – №8. – 49-52.
12. Koegel R.G. 1985: Quantification of mechanical losses in forage harvesting // Trans. of ASAE. –V.28. -№4. – 1047-1051.
13. Boltianskaya N. 2011: Obosnovaniye konstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov separiruyushchikh poverkhnostey zhaluziynykh reshet zernouborochnykh kombaynov // MOTROL. – Lublin. – 13B. – 111-116.
14. Bioenergiya 2009: Bioenergiya v Ukraini – rozvitok silskikh teritoriy ta mozhlivosti dlya okremikh gromad: Naukovo-metodichni rekomendatsii / [V.O. Dubrovin, M.D. Melnichuk, Yu.F. Melnik ta in.] – K: NUBiP Ukraini. – 122.
15. Nedovesov V.I., Mikitenko M.R. 1986: Mekhaniko-tekhnologicheskyye osnovy razrabotki stogoobrazovatelya // Tr-ry i s.-kh. mashyny. – №7. – 23-24.
16. Atomistika 1985: Atomistika razrusheniya // Novoye v zarubezhnoy nauke: Per. s angl. / Pod red. R.V. Goldshteyna. – M.: Mir. – Vyp. 40. – 246.
17. Yeremenko O.I. 2001: Rezultati doslidzhen protsesu pozdovzhnogo stisnennya stogu, obruntuvannya dovzhini robochoi kameri pristroyu ta vibir klasu traktora // Mizhvid. temat. nauk. zb. "Mekhanizatsiya ta yelektrifikatsiya silskogo gospodarstva". – Glevakha: NNTs "IMESG". – Vip. 85. – 123-127.
18. Yeremenko O.I., Kuzmich Ya.A., Gondar V.B. 2009: Obruntuvannya grafoanalitichnoi modeli strizhnevikh silskogospodarskikh materialiv // Naukoviy visnik Natsionalnogo universitetu bioresursiv i priroдокорistuvannya Ukraini. – K.: – Vip.134, ch. 2. – 138-145.
19. Novitni 2010: Novitni tekhnologii bioyenergo-konversii: monografiya / [Ya.B. Blyum, G.G. Geletukha, I.P. Grigoryuk ta in.] – K.: Agrar Media Grup. – 360.
20. Cherepanov G.P. 1983: Mekhanika razrusheniya kompozitsionnykh materialov. - M.: Nedra. - 296.
21. Loveykin V. 2012: Optimizatsiya rezhimov kolebaniy zernovykh smesey pri nalichii sukhogo treniya / V. Loveykin, Yu. Chovnyuk, V. Kulyk // MOTROL Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Lublin. – Vol. 14, № 3. – 140-147.
22. Svetlitskiy V. A. 1987: Mekhanika sterzhney / V 2-kh ch. – M.: Vysshaya shkola, – Ch. 1. – 320.

RESEARCH OF PROCESS OF CAPTURE OF STEM MATERIALS BY FORKED MECHANISM

Summary. The methodological going is expounded near opening of physical essence of phenomena which arise up on workings organs of capture, the graphic analytical model of stem materials is developed for conducting of theoretical researches of technological processes. Can be drawn on got results at planning of hardwares for implementation of loadings works with stem mass.

Key words: stem materials, aggregate, forked capture, phenomena, graphic analytical model, processes, researches.

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА СМЕШИВАНИЯ КОРМОВЫХ КОМПОНЕНТОВ В СМЕСИТЕЛЕ БАРАБАННОГО ТИПА

Иван Ревенко, Оксана Ачкевич

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

Ivan Revenko, Oksana Achkevich

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Проведен анализ перемещения материала внутри камеры при смешивании и определены качественных показателей комбикормовых смесей, полученных в наклонных барабанных смесителях с регулируемым расположением оси камеры.

Ключевые слова: комбикорма, смешивание, барабан, лопатка, частота вращения, угол наклона, равномерность смешивания.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Среди различных видов кормов ведущее место занимают комбинированные корма, которые являются не только насыщенным источником питательных веществ, но и средством балансирования рационов в соответствии с нормами кормления животных [1, 3, 6, 7, 15, 20]. В последние десятилетия доминирующее производство комбикормов постепенно перемещается от специализированных комбикормовых заводов непосредственно в сельскохозяйственные предприятия. Создано и изготавливается значительное количество комбикормовых агрегатов, работа которых базируется на использовании собственного зернового сырья и закупленных смесей белково-минерально-витаминных добавок (БМВД). При этом стоимость комбикормов, приготовленных непосредственно в хозяйствах, на 15-25% ниже, чем изготовленных специализированными предприятиями [11,12,19,21,22].

Расширению производства комбикормов в хозяйствах и получения от этого максимальной отдачи при использовании в животноводстве сдерживается несовершенством существующих механизированных технологий и недостаточностью технических средств по приготовлению смесей добавок с высокой равномерностью распределения компонентов.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ конструкторских решений смесителей сыпучих материалов, проведенный в направлении выявления их технологического соответствия для получения смесей добавок, показал целесообразность применения смесителей с вращающейся камерой, которые в отличие от других технических решений позволяют в процессе перемешивания возвращать в общий перемешиваемый поток осевшие на дне камеры более тяжелые частички материала [10, 13, 17]. Рядом авторов также проводились исследования [4, 8, 18] по использованию горизонтальных барабанных смесителей для приготовления комбикормов. Однако результаты сравнительной оценки технико-экономических показателей барабанных смесителей показали [2], что горизонтально расположенные барабаны уступают наклонным по интенсивности перераспределения потоков и равномерности смешивания компонентов в получаемом продукте.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью данных исследований является повышение эффективности перемещения компонентов и качественных показателей (равномерность перераспределения) комбикормовых смесей, полученных в наклонных барабанных смесителях с регулируемым расположением оси камеры.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Барабанный смеситель с цилиндрической формой камеры, ось симметрии которого смещена относительно горизонтальной оси вращения, схематически представлен на рис.

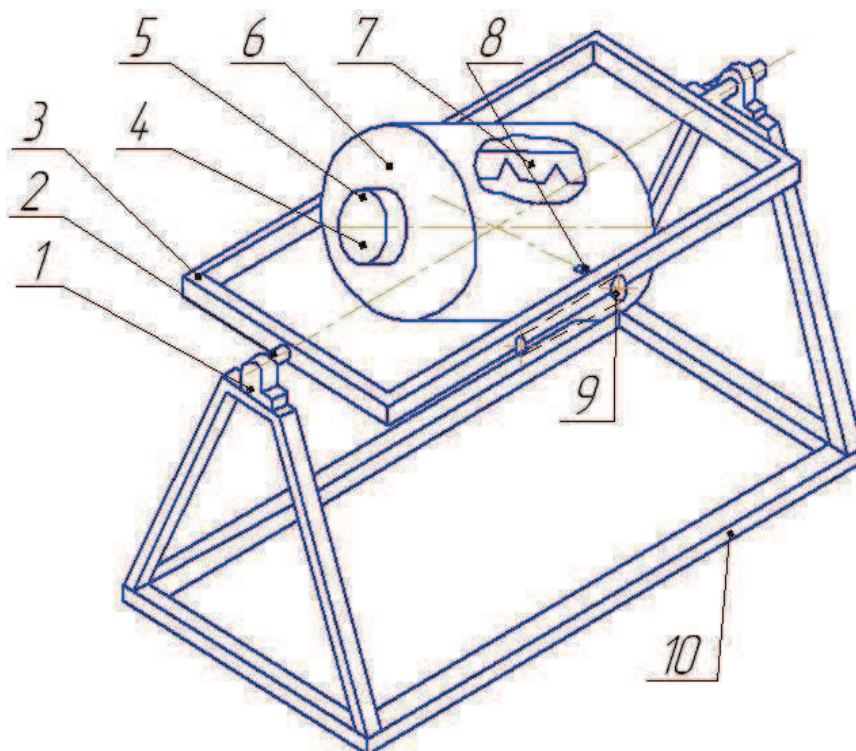


Рис. 1. Конструкторская схема барабанного смесителя с наклонной камерой:
1 – подшипниковые узлы; 2 – цапфа рамки; 3 – рамка; 4 – крышка; 5 – окно; 6 – камера смешивания; 7 – лопатка; 8 – цапфа камеры; 9 – механизм регулирования угла наклона камеры; 10 – опорная рама

Fig. 1. Designer chart of tumbler-blender with a sloping chamber

Кроме активного перемешивания в плоскости поперечного сечения, в радиальном и угловом направлениях камеры, такая конструкция позволяет получать знакопеременные потоки материала также в продольном направлении барабана.

Изучение характера перемещения частиц в прозрачной камере показало, что после вхождения в циркуляционное движение весь материал можно разделить на участки подъема $ACBM$ и скатывания $ACBQ$ (рис. 2). Точка C – центр циркуляции, вокруг которого сыпучий материал движется по замкнутому контуру. На отрезке AC происходит переход частичек из участка подъема в участок скатывания, а на отрезке CB , наоборот, из участка скатывания в участок подъема. Граница раздела участков несимметрична относительно центра циркуляции. Причем большая часть материала располагается на участке подъема, т.е. ниже центра циркуляции, над которым образуется прогиб.

При вращении камеры с гладкой поверхностью взаимного перемещения частиц материала в зоне подъема не происходит, по-

этому корм на этом участке можно рассматривать как монолитную массу [16].

Перераспределение частиц материала между собой в цилиндрической камере, оснащенной лопатками, характеризуется следующими переходными процессами:

- отрыв частиц от внутренней поверхности камеры,
- движение частиц по открытой поверхности сегмента материала,
- перемещение частиц по лопатке,
- свободное падение частиц после отрыва от лопатки.

Целесообразно рассмотреть функциональные зависимости положения частицы на граничных участках указанных переходных процессов.

Движение частицы по открытой поверхности сегмента начинается в тот момент, когда эта поверхность будет наклонена к горизонту под углом α_ω , величина которого зависит от угла трения α_c ($\alpha_\omega > \alpha_c$), угловой скорости вращения барабана ω и коэффициента заполнения его материалом k .

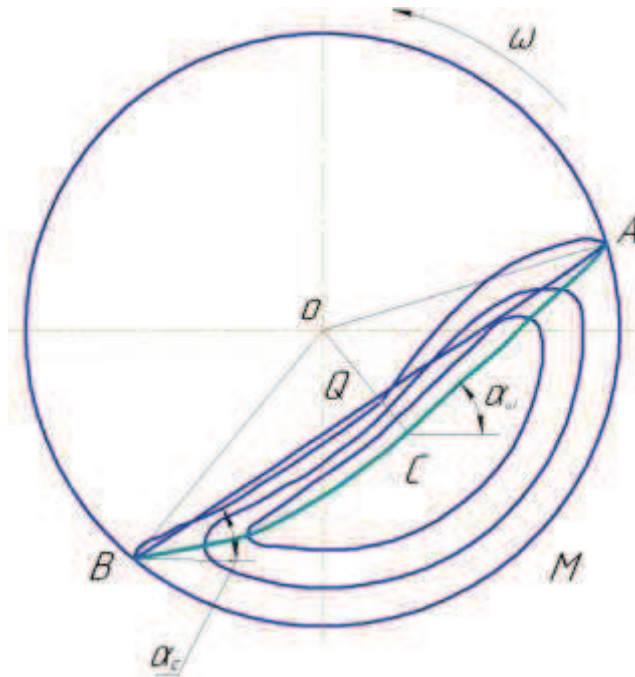


Рис. 2. Схема движения материала в гладкой камере
Fig. 2. Chart of motion of material is in smooth chamber

На верхнюю частицу материала, приведенную к системе координат XAY, действуют силы (рис. 3): гравитации – mg , нормальная реакция рабочей поверхности камеры – N , трения по поверхности барабана fN и

центробежная сила – $m\omega^2 R$ (здесь m – масса частицы; g – ускорение силы тяжести; f – коэффициент трения материала; R – радиус вращения частицы).

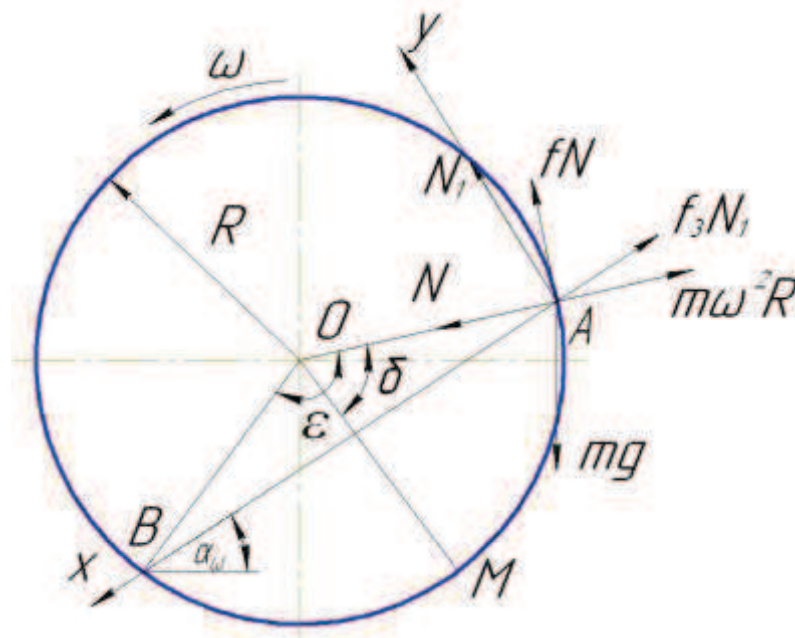


Рис. 3. Схема действия сил на материал при подъеме его поверхностью камеры и скатывании

Fig. 3. Chart of action of forces on material at getting up by his surface of chamber and rolling

Уравнения состояния частицы в момент отрыва имеют вид:

$$mg \sin \alpha_\omega + N \sin \delta = m\omega^2 R \sin \delta + fN \cos \delta; \quad (1)$$

$$fN \cos \delta + N \cos \delta = m\omega^2 R \cos \delta + mg \cos \delta. \quad (2)$$

Откуда значение угла α_ω , при котором начинается движение по свободной поверхности сегмента, определяется таким образом:

$$\alpha_\omega = \arccos \sqrt{\frac{\omega^4 R^2 [\sin^2 \delta (f \sin \delta - \cos \delta)^2 + f^2 \cos^4 \delta - \sin^2 \delta \cos^2 \delta] - g(f \sin \delta + \cos \delta)}{g^2 [(f \sin \delta - \cos \delta)^2 - \sin^2 \delta + f^2 \cos^2 \delta]}}. \quad (3)$$

После прохождения частицей точки А начинается скатывание ее в нижнюю зону. С учетом действующих на частицу сил при скатывании – нормальная реакция материала N_1 , направленная по оси Y и трения $f_3 N_1$ по поверхности барабана – движение частицы можно записать следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = mg \sin \alpha_\omega - f_3 N_1; \\ m\ddot{y} = N_1 - mg \cos \alpha_\omega, \end{cases} \quad (4)$$

где: f_3 – коэффициент трения по зерновому шару.

Решение системы (4) позволяет найти время $t_{ц.п}$ движения к центральному сечению, измеряемое половиной длины хорды АВ, и скорость v прохождения этого сечения:

$$t_{ц.п} = \sqrt{\frac{2R \sin \delta}{g(\sin \alpha_\omega - f_3 \cos \alpha_\omega)}}; \quad (5)$$

$$v = \sqrt{2R \sin \delta (\sin \alpha_\omega - f_3 \cos \alpha_\omega)}. \quad (6)$$

Если на участке разгона угол α_ω больше величины угла трения частицы по поверхности скатывания, то на участке замедления, в результате искривления поверхности, угол α_ω становится меньше угла трения и частичка останавливается [14].

Движение по поверхности радиально установленной лопатки начинается после выхода ее из монолита материала и поворота на определенный угол θ относительно горизонтали. В этот момент на частицу, расположенную на расстоянии l_1 от поверхности цилиндра, действуют силы нормальной реакции N_2 поверхности лопатки и обусловленная ею сила трения – fN_2 (рис. 4).

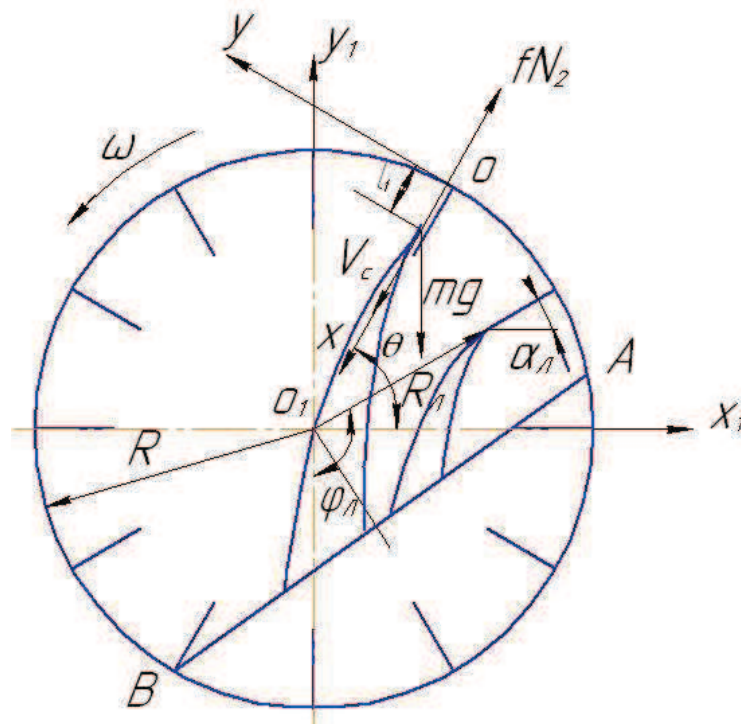


Рис. 4. Схема действия сил при движении материала по лопатке и падения с нее

Fig. 4. Chart of action of forces at motion of material on a shoulder-blade and falling from its

Уравнение движения частицы, перемещающейся по лопатке относительно системы координат XOY , запишется так:

$$m\ddot{x} = fmg \cos \theta - mg \sin \theta. \quad (7)$$

Последовательным интегрированием получаем скорость частицы v_{ck} и пройденный ею путь:

$$v_{ck} = gt (\sin \theta - f \cos \theta) + \omega(R - l_1); \quad (8)$$

$$x = 0.5gt^2(\sin \theta - f \cos \theta) + \omega(R - l_1)t + l_1. \quad (9)$$

Величина скорости v_{ck} , приобретенная частицей при схождении с лопатки, является начальной при дальнейшем ее движении – свободном падении в незаполненном пространстве камеры до опускания на поверхность рабочего сегмента материала.

После схода с лопатки частицы падают по параболическим траекториям. Траектория положения каждой частицы в свободном падении, относительно системы координат X_1OY_1 , может быть подана так:

$$\begin{cases} x_1 = R_l \left(\varphi_l - \frac{\pi}{2} \right) - v_o t \cos \alpha_l; \\ y_1 = R_l \left(\varphi_l - \frac{\pi}{2} \right) - v_o t \sin \alpha_l - \frac{gt^2}{2}, \end{cases} \quad (10)$$

где: R_l – радиус траектории движения края лопатки; φ_l – угол поднимания лопатки; v_o – начальная скорость; α_l – угол наклона лопатки.

Скатывание частиц с верхнего слоя материала, вынесенного лопаткой, начинается при превышении угла наклона этого слоя величины угла трения материала. И для решения системы (10) можно дополнительно использовать уравнение связи по координатам x_l и y_l , составленное для описания верхней границы завала и имеющее следующий вид:

$$y = x_1 tg \alpha - \frac{R \cos \delta}{\cos \alpha}. \quad (11)$$

Совместное решение уравнений (10) и (11) позволяет найти время падения t_n частицы с лопатки до момента достижения ею верхней границы завала:

$$t_n = \sqrt{\frac{2}{g} \left[R_l \sin \left(\varphi - \frac{\pi}{2} \right) + \frac{R \cos \delta}{\cos \alpha} - R_l \cos \left(\varphi - \frac{\pi}{2} \right) tg \alpha \right]}. \quad (12)$$

Для повышения равномерности смешивания необходимо организовать потоки материала вдоль камеры. В исследуемом смесителе это достигается за счет отклонения оси цилиндра от оси вращения. При перехо-

де камеры с крайних левого или правого положения до вертикального происходит изменение направления движения частичек в зоне скатывания. Причем, расположение линии максимального скатывания в пространстве смешивания будет определяться углом $\alpha_{\omega z}$ между траекторией движения и ее проекцией на поперечное сечение, а также коэффициентом внутреннего в слое f_3 . Средняя скорость перемещения в продольном направлении будет составлять:

$$v_{cp.j} = \sqrt{gR(\sin \alpha_{\omega z} - f_3 \cos \alpha_{\omega z}) \sin \delta}. \quad (13)$$

С приведенной зависимости (13) при известных значениях коэффициентов трения и заполнения камеры, а также ее размеров можно получить количественную характеристику объемов потоков, которые циркулируют в осевом направлении. Качество смеси в наклонном барабане регулируется расположением оси камеры.

Для оценки показателя равномерности p смешивания были проведены исследования с реализацией плана многофакторного эксперимента. В качестве основных были выделены следующие факторы:

- угол смещения оси вращения относительно оси симметрии барабана (угол наклона барабана) - β ;
- ширина перемешивающей лопатки - S ;
- количество лопаток на внутренней поверхности барабана - z ;
- отклонение плоскости лопатки от радиального положения (наклон лопатки) - α ;
- коэффициент заполнения камеры смешивания - k ;
- длительность периода смешивания - t .

Экспериментальные исследования выполнены на лабораторной установке, являющейся моделью натурального смесителя. Полученные результаты приведены к параметрам типоразмерного ряда натуральных образцов смесителей с объемом камеры смешивания на 50, 200 и 500 л.

В результате обработки данных относительно совокупного влияния указанных выше технологических и конструктивных параметров барабанного смесителя на равномерность смешивания компонентов комбикормов была получена такая математическая модель:

$$P = 77,78 - 10,38 \cdot k - 3,20 \cdot k^2 - 0,87 \cdot z + 1,31 \cdot k \cdot z - 0,01 \cdot z^2 + 0,04 \cdot S + 0,35 \cdot k \cdot S +$$

$$\begin{aligned}
 &+ 0,009 \cdot z \cdot S - 0,003 \cdot S^2 + 0,09 \cdot t - 0,004 \cdot k \cdot t + 0,0001 \cdot z \cdot t + 0,00004 \cdot S \cdot t - 0,0001 \cdot t^2 - \\
 &- 23,18 \cdot \alpha - 3,15 \cdot k \cdot \alpha + 0,27 \cdot z \cdot \alpha + 0,06 \cdot S \cdot \alpha + 0,02 \cdot t \cdot \alpha + 9,87 \cdot \alpha^2 + 72,51 \cdot \beta - 16,04 \cdot k \cdot \beta + \\
 &+ 0,57 \cdot z \cdot \beta - 0,35 \cdot S \cdot \beta - 0,35 \cdot S \cdot \beta - 0,5 \cdot t \cdot \beta + 22,57 \cdot \alpha \cdot \beta - 68,13 \cdot \beta^2.
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

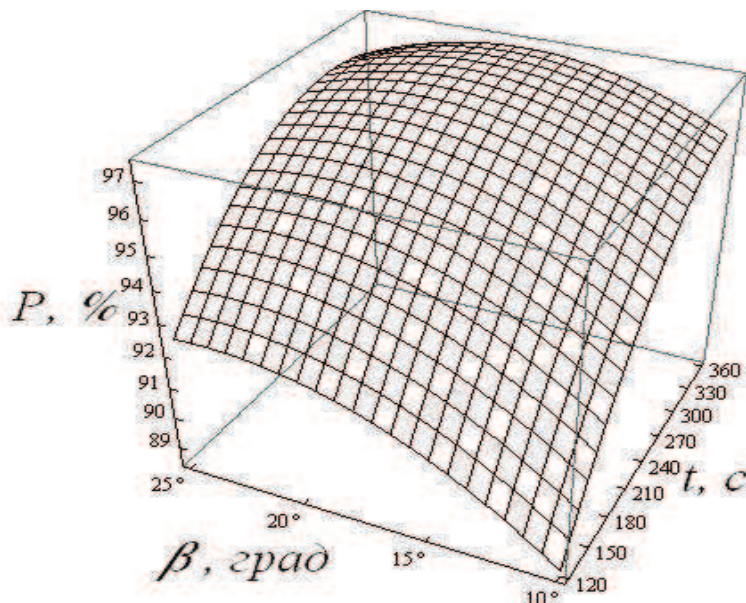


Рис. 5. Пространственная зависимость однородности смеси p от угла наклона β оси барабана и периода смешивания t при:

$$k = 0,6; S = 30 \text{ мм}, z = 9 \text{ шт} \alpha = 15 \text{ град}$$

Fig. 5. Spatial dependence of homogeneity of mixture of p on the angle of slope β of axis of drum and period of mixing of t

На рис.5 изображена поверхность отклика, показывающая зависимость равномерности смешивания от угла наклона барабана β и продолжительности процесса t . Зона максимальных значений равномерности приходится на сочетание нижних границ интервала угла наклона и длительности периода смешивания. С увеличением этих параметров поверхность отклика приобретает выпуклую форму, а при их верхних границах наблюдается тенденция уменьшения равномерности. Причем, на рост показателя равномерности более существенно влияет длительность смешивания. В диапазоне выбранных границ параметров равномерность может варьировать от 89% до 97%. Экстремальный участок поверхности отклика располагается вблизи точки $\beta = 19$ град и $t = 300$ с.

На рис. 6 приведена пространственная зависимость равномерности смешивания от одновременно действующих коэффициента заполнения камеры k и ширины рабочей плоскости лопатки S . Особенность поверхности отклика в том, что она имеет перека

т центральной зоне величин параметра S . То есть, зависимость равномерности смешивания от коэффициента заполнения камеры носит линейный характер со сменным на противоположное значение угловым коэффициентом функции. Рост коэффициента заполнения при малых значениях ширины лопатки приводит к относительному уменьшению массы активных потоков скатывания материала в поверхностных зонах, вызывает ухудшения условий массообмена в камере, а с увеличением ширины лопатки и повышением коэффициента заполнения камеры возрастает количество материала, которое выносится над поверхностью скатывания, что приводит к резкому улучшению показателя равномерности. Границы варьирования величины равномерности располагаются на интервале от 95,3% до 96,4%.

Совместное влияние угла наклона α перемешивающей лопатки и количества лопаток N образуют поверхность отклика с возрастающей величиной показателя однородности при повышении значений других переменных параметров (рис. 7).

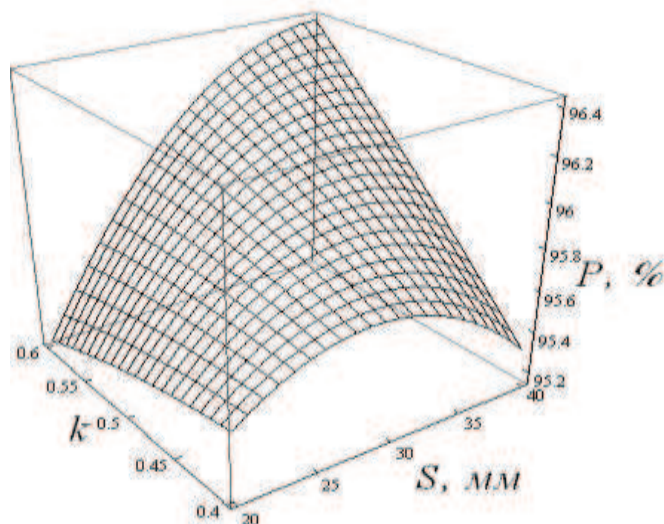


Рис. 6. Пространственная зависимость однородности смеси p от коэффициента заполнения камеры k и ширины лопатки S при $\beta = 17,5$ град.; $z = 9$ шт.; $\alpha = 15$ град.; $T = 240$ с
Fig. 6. Spatial dependence of homogeneity of mixture of p on the fill factor of chamber of k and widths of shoulder-blade of S at $\beta = 17,5$ hail.;
 $z = 9$; $\alpha = 15$ hail.; $T = 240$ c

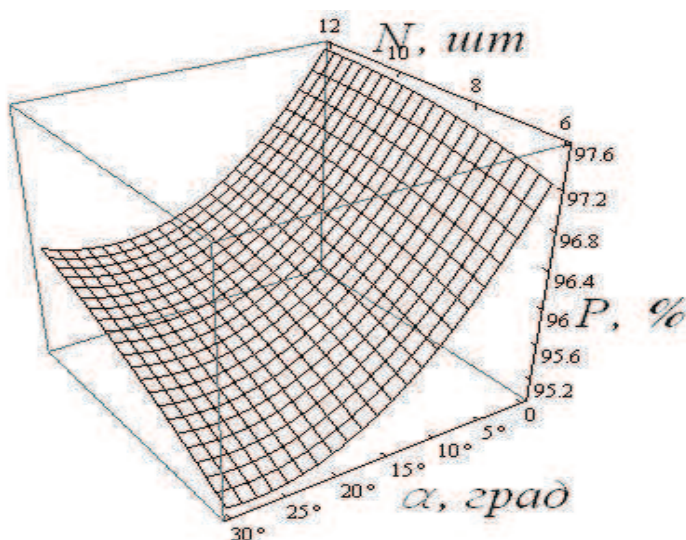


Рис. 7. Пространственная зависимость однородности смеси p от угла наклона лопатки α и их количества z при $\beta = 17,5$ град.; $S = 30$ мм; $k = 0,5$; $t = 240$ с
Fig. 7. Spatial dependence of homogeneity of mixture of p on the angle of slope of shoulder-blade α and their amount of z at $\beta = 17,5$ град.; $S = 30$ мм; $k = 0,5$; $t = 240$ c

С увеличением угла наклона от радиального положения равномерность смешивания интенсивно снижается, что вызвано уменьшением массы материала, поднятого над поверхностью скатывания и сужением пучка траекторий свободного падения частиц с лопатки при значительном заполнении камеры и увеличенных наклонах ее оси к горизонту. Увеличение количества лопаток на всем промежутке углов ее наклона несколько улучшает равномерность перемешивание и может достигать 97,5% при радиальном рас-

положении лопаток. Для определения рациональных параметров и режимов работы барабанной камеры были построены плоские сечения поверхностей отклика. Поскольку рассмотренная пространственная зависимость (рис. 5) указывает, что на качество смеси p наиболее существенно влияют угол наклона β оси барабана и период смешивания t . Поэтому рассмотрение графиков изменения однородности следует начать именно с зависимостей p от β и t .

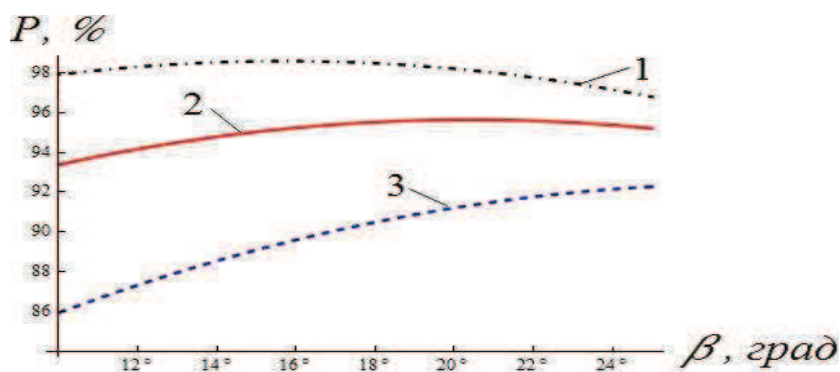


Рис. 8. Зависимость однородности смеси p от угла наклона оси барабана β при следующих сочетаниях фиксированных факторов:

- 1 - $S = 30$ мм; $z = 12$ шт; $\alpha = 0$ град; $k = 0,55$; $t = 360$ с;
- 2 - $S = 40$ мм; $z = 8$ шт; $\alpha = 15$ град; $k = 0,45$; $t = 240$ с;
- 3 - $S = 20$ мм; $z = 6$ шт; $\alpha = 25$ град; $k = 0,4$; $t = 120$ с.

Fig. 8. Dependence of homogeneity of mixture of p on the angle of slope of axis of drum β at next combinations of the fixed factors:

Из рис. 8 и рис. 9 видно, что с увеличением угла наклона β оси барабана и продолжительности t смешивания интенсивность улучшения равномерности p смешивания снижается.

Графические зависимости представляют собой пучок слегка выпуклых кривых, сближающихся между собой с вдоль оси абсцисс. Диапазон изменения углов 16-20 град можно считать зоной насыщения во времени не менее 240 с. С увеличением угла наклона оси камеры наблюдается уменьшение показателя равномерности. Вероятно влияет явление сползания отдельных порций материала, расположенных на лопатках до наступления

их отрыва и свободного падения. При значениях углов $\beta = 16-20$ град. можно достичь равномерности 95-98%, что удовлетворяет зоотехническим требованиям для всех групп животных. Длительность смешивания проявляет наиболее доминирующее влияние на равномерность. В интервале периода смешивания 240-360 с и при угле наклона 10, 15 и 20 град полученная равномерность для всех исследуемых вариантов значений фиксированных факторов, располагается в пределах 92-98%. Таким образом, диапазон изменения фактора угла и периода смешивания могут быть рекомендован таким: $\beta = 15-20$ град, $T = 240-360$ с.

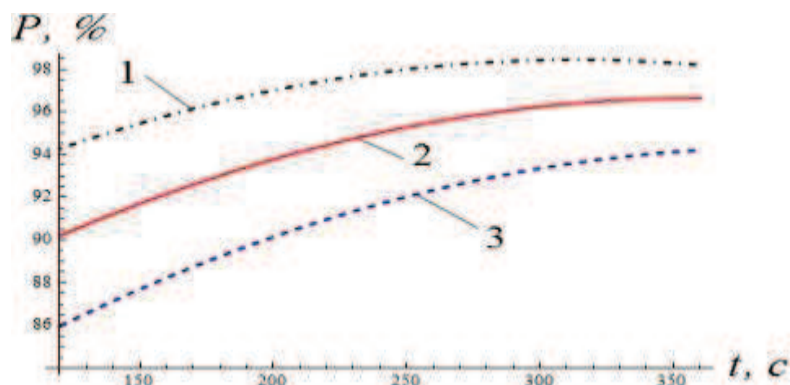


Рис. 9. Зависимость равномерности смешивания p от продолжительности процесса t при следующих сочетаниях фиксированных факторов:

Fig. 9. Dependence of evenness of mixing of p on duration of process of t at next combinations of the fixed factors:

- 1 - $S = 35$ мм; $z = 10$ шт; $\alpha = 0$ град; $k = 0,55$; $\beta = 20$ град;
- 2 - $S = 40$ мм; $z = 8$ шт; $\alpha = 15$ град; $k = 0,45$; $\beta = 15$ град;
- 3 - $S = 20$ мм; $z = 6$ шт; $\alpha = 25$ град; $k = 0,4$; $\beta = 10$ град

Приведенные пространственные изображения поверхностей отклика и графические зависимости, полученные из результатов табулирования математической модели, не дают возможности определить показатель равномерности смешивания по всему пространству влияния воздействующих факторов. Но поскольку показатель однородности, согласно зоотехнических требований, является основным критерием оценки качества приготовленного комбикорма, то целесообразно иметь значение и характер изменения равномерности по всей области исследуемого пространства. Такое решение дает построение линий равного отклика. Пользуясь пространственными поверхностями отклика равномерности смеси в зависимости от объединенных факторов $[\beta, t]$, $[k, S]$, $[\alpha, N]$ на горизонтальную плоскость были спроектированы линии равного значения показателя p . Один из них $p = F[\beta, t]$ приведен на рис. 10. Нанесенные на рис. 10 линии изменения равномерности, соответствующие переменным β и t , подтверждают, что по сравнению с другими сочетаниями факторов они дают больше возможностей улучшить качество полученной смеси.

При работе камеры, наклоненной на угол 10 град, уже через 120 с показатель равно-

мерности составляет 89%. Дальнейшее увеличение продолжительности смешивания и роста угла наклона оси камеры приводит к улучшению распределения компонентов в смеси, причем фактор времени влияет более интенсивно, на что указывает угол наклона касательных к контурам, проведенных в точках пересечения их с линией направления движения в зону оптимума. Участок, очерчен показателем равномерности $p = 97\%$, определяется пределами наклона камеры $\beta = 14,5-23$ град, а нижний предел продолжительности смешивания составляет $t \geq 280$ с. Полученные контуры равного значения функции отклика, что позволяет выбирать величины β и t при заданном ограничительном значении показателя равномерности.

В целом построение и анализ графиков равного значения показателя равномерности подтверждает, что в рамках заданных конструктивных и режимных параметров обеспечивается соблюдение качества полученной смеси в пределах оговоренных зоотехнических нормам.

Перерасчет величин рациональных параметров лабораторной установки применительно к смесителям типоразмерного ряда представлен в таблице 1.

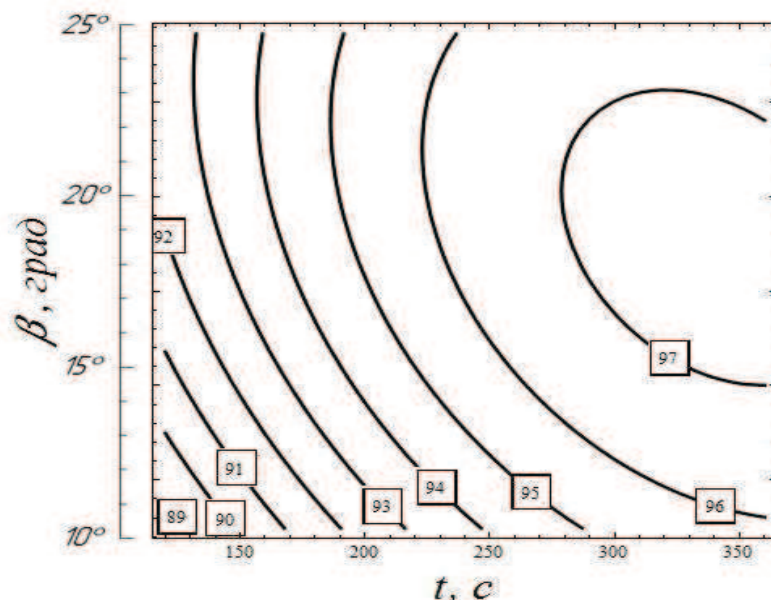


Рис. 10. Линии равного значения показателя однородности процесса смешивания p при переменных β и t . Фиксированные величины:

Fig. 10. Lines of equal value of index of homogeneity of process of mixing of p at variables β and t .

Fixed sizes:

$k = 0,6$; $S = 30$ мм; $N = 9$ шт; $\alpha = 15$ град

Таблица 1. Характеристика параметров барабанных смесителей
Table 1. Description of parameters of tumbler-blenders

Наименование параметров смесителя	Значение параметров для типоразмеров смесителей		
	1-ый	2-й	3-ий
Объем камеры смешивания, л	50	200	500
Диаметр камеры, мм	350	550	800
Длина камеры, мм	520	830	1400
Коэффициент заполнения	0,45 – 0,55		
Частота вращения барабана, с ⁻¹	0,45-0,48	0,29-0,32	0,2-0,22
Угол наклона барабана, град	16 - 20		
Количество лопаток, шт	9	12	15
Ширина лопатки, мм	70	115	160
Длительность смешивания, с	320		

ВЫВОДЫ

1. Получены функциональные зависимости для определения коэффициента заполнения камеры, условий связи с поверхностью и начала скатывания частичек по свободной поверхности материала в камере, длительности смешивания, круговой скорости перемещения потоков, скорости материала в поперечном направлении.

2. Определены рациональные величины технологических и конструктивных параметров установки, приведенные в соответствии к рекомендуемым вариантам типоразмерного ряда смесителей.

3. Рекомендованные значения параметров смешивания обеспечивают технологическую надежность и равномерность распределения компонентов в смеси, установленную зоотехническими требованиями. Показатель равномерности распределения компонентов составляет 95-98%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Achkevich O.M. 2008: Istorichni aspekti stanovlennya biotekhnologichnikh ta tekhniko-ekonomichnikh peredumov rozvitku mekhanizovanikh tekhnologiy godivli tvarin kormosumishkami /Materialy IV mezinarodni vedecko-prakticka konference/ Vedesky prumuslev ropskenokontinentu 2008/ Dil 11. – Praha: Publishing House “Educationand Science”. – 27-28.

2. Achkevich O.M. 2012: Obgruntuvannya viboru tipu zmishuvacha kombikormovikh dobavok /O.M. Achkevich //Naukoviy visnik natsionalnogo universitetu bioresursiv i priroдокористuvannya Ukraini. Seriya: tekhnika ta yenergetika APK – K.: – Vip. 170, ch. 2. – 263-271.

3. Belyayevskiy Yu.I. 1981: Kormosmesi i kormovyue dobavki v molochnom zhivotnovodstve / Yu.I. Belyayevskiy, T.N. Sazonova. – M.: Rosselkhozizdat. – 205.

4. Boyko L.Ya. 1976: Issledovaniye protsessa smeshivaniya belkovo-vitaminnykh dobavok : avtoref. diss. na soisk. nauchn. step. kand. tekhn.. nauk : spets. 05.410 «Mekhanizatsiya selskokhozyaystvennogo proizvodstva» /L.Ya. Boyko. – M.: – 19.

5. Denisko Ye. 2012: Obosnovaniye parametrov vibratsionnogo shelushitelya zerna /E. Denisko, A. Tkachuk // MOTROL: International jornal onoreration of farmandagri-foodindustry machinery. Lublin: – 2012. – Vol. 14, No. 3. – 78-86.

6. Denisov N.I. 1970: Proizvodstvo i ispolzovaniye kombikormov / N.I. Denisov. – M.: Kolos. – 239.

7. Dmitrochenko A.D. 1961: Kormleniye selskokhozyaystvennykh zhivotnykh / A.D. Dmitrochenko, P.D. Pshenichnyy. -L.-M.: Selkhozizdat. – 5-9.

8. Yevseyenkov S.V. 1980: Osnovy rascheta protsessa smeshivaniya komponentov sypuchikh materialov: avtoref. diss. na soisk. nauchn. step. kand. tekhn. nauk: spets. 05.410

- «Mekhanizatsiya selskokhozyaystvennogo proizvodstva» /S.V. Yevseyenkov. – Chelyabinsk: – 22.
9. Kovbasa V. 2012: Analiz protsessa podachi zerna v rabochuyu kameru izmelchitelya / V. Kovbasa, V. Solomka, O. Solomka //MOTROL: International jornal onoreration of farmandagri-foodindustry machinery. Lublin: – Vol. 14, No. 3. – 47-55.
10. Korotych V.I. 1962: Dvizheniye sypuchego materiala vo vrashchayushchemsya barabane / V.I. Korotych // Stal. – №8. – 680-686.
11. Koshelev A.N. 1986: Proizvodstvo kombikormov i kormovykh dobavok / A.N. Koshelev, L.A. Glebov. –M.: Agropromizdat. – 176.
12. Lobanovskiy G.A. 1973: Tekhnologiya virobnitstva kombikormiv / G.A. Lobanovskiy. – K.: Urozhay. – 136.
13. Makarov Yu.I. 1973: Apparaty dlya smesheniya sypuchikh materialov / Yu.I. Makarov. – M.: Mashinostroyeniye. – 216.
14. Makevnin M.P. 1984: Raschet vremeni padeniya chastits sypuchego materiala v barabannykh sushilkakh s lopastnoy nasadkoy / M.P. Makevnin, V.F. Pershin, M.M. Sviridov // Khimicheskoye i neftyanoye mashinostroyeniye. – 1984. –№9. – 31-32.
15. Nering K. 1959: Kormleniye selskokhozyaystvennykh zhivotnykh i kormovyey sredstva / K.Nering. – M.: Selkhozizdat. – 9-14, 485-487.
16. Pershin V.F. 2009: Pererabotka sipuchikh materialov v mashinakh barabannogo tipa / V.F. Pershin, V.G. Odnolko, S.V. Pershina –M.: Mashinostroyeniye. – 220.
17. Pershin V.F. 1988: Raschet raspredeleniya sypuchego materiala v gladkom vrashchayushchemsya barabane / V.F. Pershin // Khimicheskoye i neftyanoye mashinostroyeniye. – M.: – 21-26.
18. Petrova S.S. 2004: Povysheniye kachestva smeshivaniya kormov s obosnovaniyem konstruktivno-rezhimnykh parametrov barabannogo smesitelya: avtoref. na soisk. nauch. step. kand. tekhn. nauk: spets. 05.05.11 «Mekhanizatsiya selskokhozyaystvennogo proizvodstva» / S.S. Petrova. – Penza: – 16.
19. Sorokin V.M. 2008: Analiz funktsionalnikh skhem prigotuvannya kombikormiv v umovakh gospodarstv i perspektivni napryami ikh vdoskonalennya / V.M. Sorokin. // Visnik Lvivskogo natsionalnogo agrarnogo universitetu: Agroinzhenerni doslidzhennya. – Lviv: Lvivskiy natsionalniy agrouniversitet, – №12. – T.1. – 228-234.
20. Sokolov A.Ya. 1970: Kombikormovyey zavody / A.Ya. Sokolov. –M.: Kolos. – 152-154.
21. Syrovatka V.I. 1976: Proizvodstvo kombikormov v kolkhozakh i sovkhozakh / V.I. Syrovatka. –M.: Rosselkhozizdat. – 61.
22. Chernyayev N.P. 1985: Tekhnologiya kombikormovogo proizvodstva / N.P. Chernyayev. – M.: Agropromizdat. – 256.

ANALYSIS OF MIXING FEED INGREDIENTS IN MIXER DRUM

Summary. The analysis of the material flow within the chamber during mixing and Quality indicators feed mixtures obtained in tilted drum mixer with adjustable position chamber axis.

Key words: feed, mixing, drum, blade, speed, angle, uniform mixing.

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ СТРИЖКИ ОВЕЦ С ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНЫМ ХАРАКТЕРОМ ДВИЖЕНИЯ НОЖА НА ТЕРИТОРИИ СНГ

Иван Ревенко, Константин Веселивский

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15

Ivan Revenko, Konstantin Veselivskiy

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Приведены конструкционные схемы возвратно-поступательных стригальных машинок с их анализом и определением путей развития.

Ключевые слова. Стригальная машинка, нож, гребенка, нажимной механизм овца, стригаль и привод.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Использование стригальных машинок с возвратно-поступательным характером движения ножа имеет ряд недостатков, таких как: вибрации, нагревания и низкое качество среза шерсти.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Аналогичными вопросами занимались [1, 2, 3], где высказывали, что любой режущий аппарат с возвратно поступательным характером движения ножа имеет не постоянную скорость резания а также мертвые точки и зоны двойного пробегания ножа по перерезаемому материалу.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является анализ тенденций и определении перспектив развития стригальных машинок.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Стрижка самый ответственный и энергоемкий процесс в овцеводстве [4, 5, 6]. Проведение стрижки в короткие сроки – основное условие получения высококачественной шерсти, оно зависит от природно-климатических условий, породы животных, состояния механизации процесса стригальных пунктов. От правильной организации и проведения стрижки зависит качество получаемой шерсти, а также удовлетворительное физическое и физиологическое состояние животных, что обеспечивает рост новой шерсти [7, 8].

Первым приспособлением для стрижки овец были ножницы, которые изображены на рис. 1, кто их первый применил неизвестно. Ними стригли долгое время [9].



Рис. 1. Ножницы для стрижки овец
Fig. 1. Scissors for the hair-cutting of sheep

Ручное выполнение стрижки требует соответствующих навыков квалификации, а также значительных физических усилий – около 1000 нажатий стригалем на ножницы для обстригания одной головы [10].

Совместно с ножницами применяли и ручные машинки для стрижки овец, они широко применялись, более чем в 80% случаев, начиная с XVIII-XIX веков, одна из таких машинок изображена на рис. 2 [11].



Рис. 2. Ручная стригальная машинка
Fig. 2. Hand typewriter for a hair-cutting

Ручной стригальной машинкой необходимо близко 4000 нажатий оператором на ручки для стрижки одной головы. В отличие от предшественника – ножниц, сила с кою жмет стригаль на ручки на порядок меньше, но тем не менее шерсть срезается неравномерно, уступами, с образованием сечки. Все это понижает качество та выход шерсти [10].

Первая машинка для стрижки овец с возвратно-поступательным характером движения ножа была сконструирована в Австралии ирландцем Ф. И. Волслей в 1887 р. В процессе усовершенствования стригальной машинки наибольшего изменения претерпел привод та передаточный механизм. Канатная передача была заменена на фрикционную, а потом на механическую и электрическую с групповым и индивидуальным приводами [12]. В дальнейшем появилось много модификаций относительно привода, механизма передачи и прижатия, но принцип действия, а также резальный аппарат остались практически без изменений.

Первая машинная стрижка овец в СРСР была проведена в 1929 году [13], на ней бы-

ли исследованы все лучшие машинки для стрижки овец с целью определить работоспособность и пригодность этих моделей для освоения отечественной промышленностью. Серийный выпуск отечественной стригальной машинки было начато в 1934 году механическим заводом Ростова-на-Дону. Выпускались стригальные машинки возвратно-поступательного типа марки МС, с шириной захвата 57,6 мм [14]. В 1938 году была разработана и выпускалась до 1949 года стригальная машинка ШЗМ, с шириной захвата 76,8 мм. С 1949 по 1962 года выпускалась усовершенствованная стригальная машинка ШЗМ-2.

У 1959 году в научно-исследовательском институте электротехнической промышленности (НИИЭП) совместно с Всесоюзным научно-исследовательским институтом электрификации сельского хозяйства (ВНИЭСХ) была сконструирована стригальная машинка МС-4, с электродвигателем переменного тока повышенной частоты (200 Гц), размещенным в рукоятке машинки. В 1961 году была выпущена большая партия МС-4 на механическом заводе Ростова-на-Дону. Начиная с 1962 года, чугунный корпус ШЗМ-2 был заменен корпусом с алюминиевых сплавов. Новая машинка получила название МСО-77А, частота двойных ходов составила 1800 мин⁻¹. В 1963 году в ГСКБ при механическом заводе Ростова-на-Дону, разрабатываются стригальные машинки МСО-77Б/58, которая представлена на рис. 3, частота двойных ходов 2300 мин⁻¹. В МСО-77В/58 привод от собственного электродвигателя через гибкий вал, 2800 мин⁻¹, стригальные машинки МСО-77Д/58, 2300 мин⁻¹ и МСО-77Е/58 привод осуществляется через карданный вал от собственного электродвигателя 2800 мин⁻¹. Перечисленные стригальные машинки могли работать як с узкозаминатными (57,6 мм) так и широкозаминатными (76,8 мм) режущими парами. С целью увеличения скорости резания в 1959 году начинается выпуск МСО-77Б, с частотой двойных ходов 2380 мин⁻¹ [15]. С 1959 по 1962 года в ВНИЭСХ проектировали стригальные машинки МС-200 та МС-400 с электродвигателем в рукоятке, что работает от переменного тока с частотой 200 та 400 Гц соответственно [16]. А уже у 1966 году ГрузНИЭСХ была разработана стри-

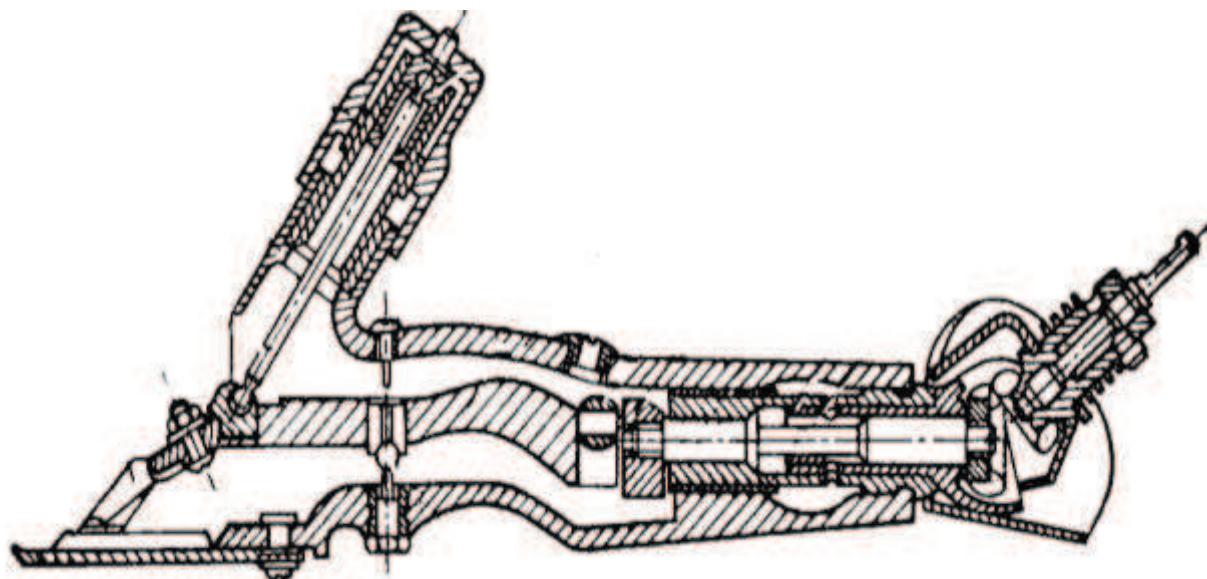


Рис. 3. Стригальная машинка МСО-77Б
Fig. 3. Typewriter for the hair-cutting of MCO -77Б

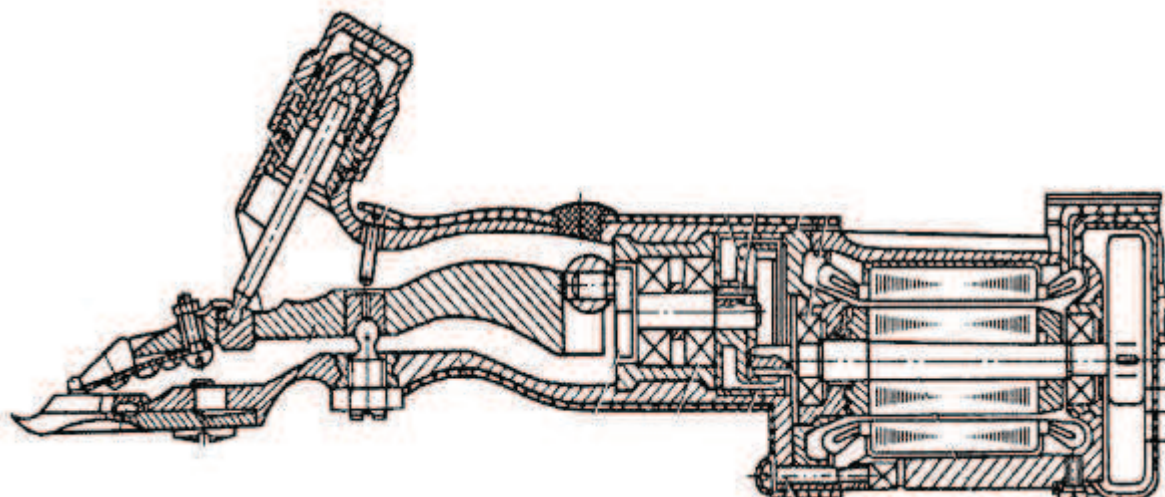


Рис. 4. Стригальная машинка МСУ-200А
Fig. 4. Typewriter for the hair-cutting of MSU-200А

гальная машинка МС-200М с высокочастотным (200 Гц) трехфазным электродвигателем, работающим от напряжения 36 В. После доработки, машинки МС-200М, промышленность начала выпуск стригальной машинки МСУ-200. Которая была усовершенствована и получила название МСУ-200А, она изображена на рис. 4.

Кроме промышленного производства стригальных машинок, предлагались и другие оригинальные конструкции.

В 1960 году Полозов П.Л. [17] предложил в электромагнитный двигатель машинки установить плоскую пружину, один конец которой соединялся с регулируемым винтом.

Мета разработки – регулирование электромагнитной системы при помощи резонанса.

В 1967 году Перчихин А.В., Краснов В.С. та Крамаров Ю.И. [18], считая серийную машинку громоздкой, с несовершенным режущим аппаратом, нажимным механизмом та редуктором, предложили свою стригальную машинку. В ней использовано электродвигатель который живится током частотой 400 Гц, что по мнению авторов позволяет увеличить продуктивность та упростить конструкцию стригальной машинки. Однако наоборот возрастают вибрации, которые приводят лишь к более быстрому утомлению стригалей.

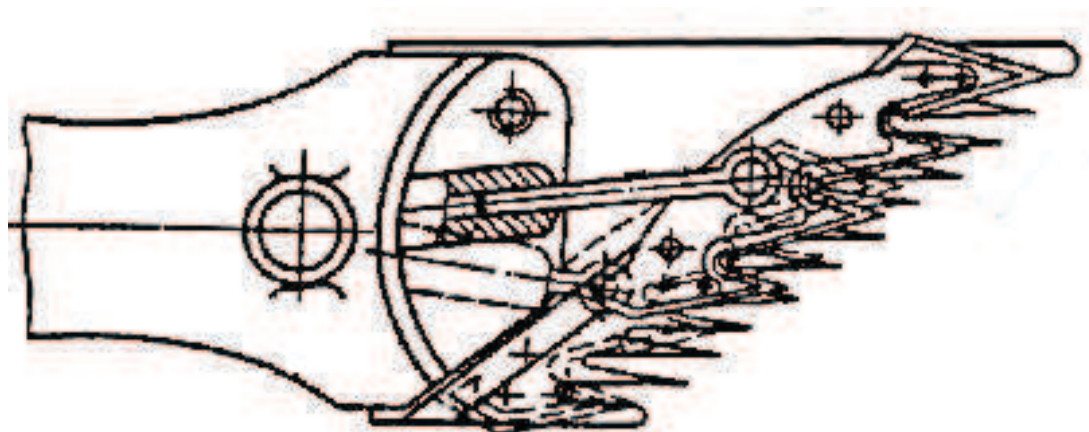


Рис. 5. Стригальная машинка с наклонным резальным аппаратом
Fig. 5. Typewriter for a hair-cutting with a sloping cutting vehicle

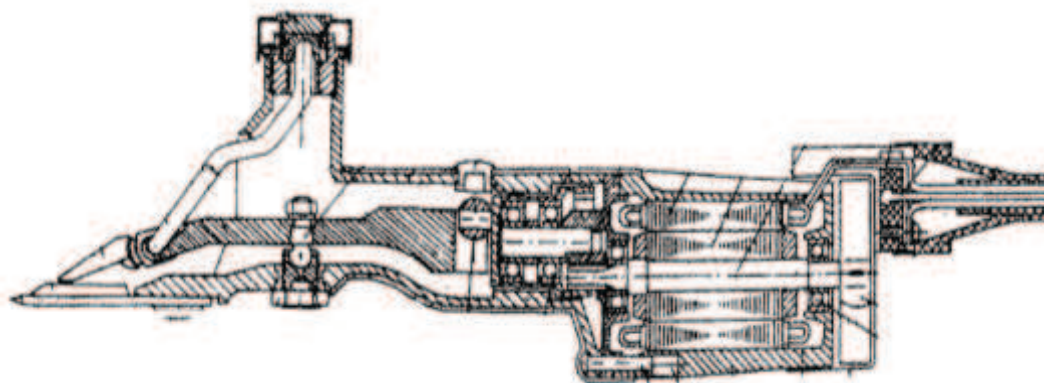


Рис. 6. Стригальная машинка МСУ-200 А с прижимным механизмом вертикального типа
Fig. 6. Typewriter for a hair-cutting МСУ-200 And with the rider mechanism of vertical type

В главном специализированном конструкторском бюро по комплексу машин для овцеводства и водоснабжения Поповым В.Д., Жаданом Л.Н. и Мяликом А.А. предложен новый резальный аппарат стригальной машинки, которая представлена на рис. 5. Гребёнка сделана таким образом, что линия которая проходит через вершины зубьев гребёнки, расположена под углом к площади поперечного сечения машинки [19]. Целью конструкции есть повышение качества стрижки и снижение травматизма животных при их стрижке, за счет отведения остриженной шерсти в перпендикулярном направлении к наклону гребёнки. По замыслу авторов, это улучшает видимость зоны резания, что и обеспечивает качество стрижки та снижение травматизма. К недостаткам этой конструкции можно отнести смещение центра тяжести стригальной машинки, а также ухудшается прижатие ножа к гребёнке.

В 2008 году на базе ИМЖ УААН г. Запорожья был создан опытный образец стригальной машинки с прижимным механизмом вертикального типа [20], рисунок 6. Разработчики пытались уменьшить силу прижатия и вибрации режущего аппарата, однако значительного уменьшения не добились.

К недостаткам стригальных машинок с возвратно-поступательным характером движения ножа следует отнести:

- необходимость частых заточек
- малый срок службы резальных пар,
- характер движения ножа, который создает нежелательные вибрации,
- трудность настройки эксцентрикового механизма,
- перекося площадки ножа относительно площадки гребёнки вследствие не совершенства механизма прижатия,



- сильное нагревание режущего аппарата, корпуса и электродвигателя (от перегрузки),
- образование сечки из-за мертвых зон.

ВЫВОДЫ

Анализ моделей стригальных машинок показал, что изменения, которые вносились в конструкцию стригальных машинок к значительному улучшению условий и повышению продуктивности труда стригалей не привело. Это объясняется различными причинами, начиная от низкой квалификации стригалей и заканчивая устаревшими приемами стрижки. Но главным фактором, что сдерживает повышение продуктивности, остается несовершенство режущего аппарата стригальной машинки и отдельных ее узлов.

Нами составлена таблица путей совершенствования стригальных машинок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zyablov V.A. 1964: Osnovy teorii tekhnologicheskogo protsessa rezaniya v rezhushchikh apparatakh kormoprigotovitelnykh mashin / V.A. Zyablov – M: Kolos. – 140.

2. Goryachkin V.P. 1958: Sobraniye pochineniy v 3-kh tomakh / V.P. Goryachkin – M.: Mashinostroyeniye. – T.2, 26-34.

3. Bosoy Ye.S. 1967: Rezhushchiye apparaty uborochnykh mashin (Teoriya i raschet) / Ye.S. Bosoy. – M.: Mashinostroyeniye. – 167.

4. Iovenko V.M. 2006: Vivcharstvo Ukraini / V. M. Iovenko, P. I. Polska, O. G. Antonets ta in.; za red. V. P. Burkata. - K.: Agrar. nauka. – 614.

5. Bolotnoye P.M. 1985: Mekhanizatsiya rabot v ovtsevodstve / P.M. Bolotnoye, S.V. Ryzhov - M: Agropromizdat, – 255.

6. Borisenko Ye. Ya. 1967: Razvedeniye sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh / Ye. Ya. Borisenko - 4-e izd., pererab. i dop. – M.: Kolos. – 463.

7. Akhmedov Yu.P. 1962: Nekotoryye zakonomernosti rosta shersti u ovets / Yu.P. Akhmedov. – Ovtsevodstvo, №12, 10-12.

8. Vasilyev H.A. 1965: Strizhka ovets i klassirovka shersti / N.A. Vasilyev, P.B. Genkin, M.A. Shcherbatykh. – M.: Rosselkhozizdat. – 242.

9. Zhivoy: Zhivoy zhurnal il. Nozhnitsy dlya strizhki ovets <http://marinni.livejournal.com/301069.html>.

10. Revenko I.I. 2009: Mashini ta obladnannya dlya tvarinnitstva / I.I. Revenko, M.V. Braginets, V.I. Rebenko: pidruchnik [dlya stud. vishch. navch. zakl.]– K.:Kondor, – 684, 731.
11. Patent 1890: Patent №. 432,076, UNITED STATES PATENT OFFICE, V26V 19/00, Hair-clipper sweat-guard dated/ Joseph Kilburn. – №, 330,356; appl. Nov. 13, 1889, corder. July 15, 1890.
12. Asanov M.D. 1966: PGSh-1– naiboleye ekonomichnaya mashina dlya pressovaniya shersti / M.D. Asanov. – Ovtsevodstvo. – №12, 24-26.
13. Krysyuk V.I. 1983: Tekhnologicheskiye i inzhenerno-tekhnicheskiye osnovy protsessa strizhki ovets: dis. doktora s-g. nauk: 05.20.01/ Krysyuk Viktor Ivanovich. – Stavropol. – 188, 385.
14. Angilejev O.G. 1967: Issledovaniye ekspluatatsionnykh pokazateley i obosnovaniye nekotorykh parametrov strigalnykh mashinok i tochilnykh apparatov. — Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk. – Stavropol. – 24.
15. Perchikhin A.V. 1959: Strigalnaya mashinka so vstroyennym elektrodvigatelem / A.V. Perchikhin, Yu.I. Kramarov. – Zhivotnovodstvo. – №5, 34-36.
16. Primeneniye 1974: PRIMENENIYE elektricheskoy energii v selskom khozyaystve. [Pod red. P.N. Listova] – M.: Kolos. – 623.
17. Elektricheskaya 1960: A.s. 133371 SSSR MKL V26V 19/24. Elektricheskaya mashinka dlya strizhki shersti/ P.L. Polozov; zayavleno 03.03.60; opubl. 1960, Byul. №21.
18. Mashinka 1967: A.s. 140705 SSSR MKL V26V 19/24. Mashinka dlya strizhki ovets/ A. V. Perchikhin, V.S. Krasnov, Yu.I. Kramorov; zayavleno 17.01.61; opubl. 16.05.67; Byul. №11.
19. Mashinka 1986: A.s. 1220798 A SSSR MKL V26V 19/24. Mashinka dlya strizhki zhivotnykh./ V.D. Popov, L.N. Zhadan., A.A. Myalik; zayavleno 08.12.83; opubl. 30.03.1986, Byul. №12.
20. Patent 1981: Patent №4,291,462, UNITED STATES PATENT OFFICE, B26B 19/00. Shearing device/ E. E. Corder. – №140,172; appl Apr. 14, 1980; corder Sep. 29,1981.

**ANALYSIS OF TECHNICAL SHEARING
RECIPROCATING NATURE
OF MOVEMENT KNIFE
ON TERETORII CIS**

Summary. Construction schemes are reciprocating shearing machines with their analysis and subsequent determination of ways of development.

Key words: sheepshearer, knife, comb, push mechanism, sheep sheepshearer and drive.

СИНТЕЗ ЛИНЕЙНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ АВТОМОБИЛЬНЫХ КРАНОВ

Вячеслав Ловейкин, Юрий Човнюк, Константин Почка

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15

Vyacheslav Loveykin, Yuriy Chovnyuk, Konstantin Pochka

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Приведен синтез линейных регуляторов для задач оптимального управления нестационарными колебаниями, возникающими в режимах пуска/торможения автомобильных кранов. Для обоснования достаточных условий оптимальности решения указанной задачи, сформулированных В.Ф. Кротовым, установлено и решено методом неопределённых коэффициентов уравнение Р. Беллмана.

Ключевые слова: синтез, линейные регуляторы, оптимальное управление, нестационарные колебания, автомобильные краны.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Изучение нестационарных колебательных процессов в механических деформируемых системах, в частности, в автомобильных кранах, представляет большой интерес для современной техники в связи со значительным увеличением мощностей и скоростей движения машин.

Нестационарные колебания элементов автокрана, его двигателя внутреннего сгорания, корпуса на рессорах, колёс возникают при неустановившихся режимах работы, пуске и остановке, балансировке крана и т.д.

Наиболее полно изучены нестационарные колебания при переходе через резонанс линейных систем.

Однако исчерпывающего решения задач синтеза линейных регуляторов для оптимального управления нестационарными колебаниями автомобильных кранов, доведенного до практических применений, для многих линейных задач не было.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Необходимые условия оптимальности для задач оптимального управления были сформулированы Л.С. Понтрягиным в 1956 г. [2]. Достаточные условия обоснованы В.Ф. Кротовым [1]. Авторы [3-5] используют уравнение и функцию Р. Беллмана для установления оптимального управления движением механических систем, а также технологическими процессами. В данной работе использован именно такой подход для оптимизации переходных процессов, связанных с колебаниями автомобильных кранов, возникающими в режимах их пуска/торможения, смены режима движения [6-10].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы состоит в синтезе линейных регуляторов для задач оптимального управления нестационарными колебаниями автомобильных кранов. Для достижения указанной цели используется подход В.Ф. Кротова, устанавливается и решается уравнение Р. Беллмана, определяются параметры линейного регулятора, обеспечивающего оптимальный закон управления и движения автомобильного крана. Коэффициенты функции Р. Беллмана находятся способом, приведенным в [4, 5].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. *Анализ колебаний автомобильного крана.*

Вначале определим частоты колебаний, предположив, что собственная частота вертикальных колебаний колёс значительно

СИНТЕЗ ЛИНЕЙНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ АВТОМОБИЛЬНЫХ КРАНОВ

выше собственной частоты колебаний корпуса на рессорах [10].

Вследствие большого различия собственных частот колёс и корпуса систему, схематизирующую движение корпуса автокрана на рессорах, можно представить в виде упруго подвешенного твёрдого тела (рис. 1). Такая система обладает двумя степенями свободы.

В качестве обобщённых координат, определяющих положение системы при колебаниях, примем вертикальное перемещение x центра масс автокрана (G) и угол φ поворота корпуса вокруг центра масс. Пусть m – масса автокрана, а J – момент инерции относительно оси, проходящий через центр масс, g – ускорение свободного падения.

Кинетическая энергия системы определяется по формуле:

$$T = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \dot{x}^2 + \frac{1}{2} \cdot J \cdot \dot{\varphi}^2. \quad (1)$$

$$\Pi = \frac{1}{2} \cdot c_1 \cdot x_1^2 + \frac{1}{2} \cdot c_2 \cdot x_2^2 = \frac{1}{2} \cdot c_1 \cdot (x + l_1 \cdot \varphi)^2 + \frac{1}{2} \cdot c_2 \cdot (x - l_2 \cdot \varphi)^2. \quad (3)$$

Уравнения колебаний рассматриваемой системы записываются в виде:

$$\begin{cases} m \cdot \ddot{x} + (C_1 + C_2) \cdot x + (C_1 \cdot l_1 - C_2 \cdot l_2) \cdot \varphi = 0; \\ J \cdot \ddot{\varphi} + (C_1 \cdot l_1 - C_2 \cdot l_2) \cdot x + (C_1 \cdot l_1^2 + C_2 \cdot l_2^2) \cdot \varphi = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Полагая:

$$x = A_1 \cdot \sin(\lambda \cdot t + \delta); \quad \varphi = A_2 \cdot \sin(\lambda \cdot t + \delta), \quad (5)$$

найдем:

$$\ddot{x} = -A_1 \cdot \lambda^2 \cdot \sin(\lambda \cdot t + \delta); \quad \ddot{\varphi} = -A_2 \cdot \lambda^2 \cdot \sin(\lambda \cdot t + \delta). \quad (6)$$

Подставив x , φ и \ddot{x} , $\ddot{\varphi}$ в уравнения (4), получим характеристическое уравнение:

$$\begin{vmatrix} (C_1 + C_2 - m \cdot \lambda^2) & (C_1 \cdot l_1 - C_2 \cdot l_2) \\ (C_1 \cdot l_1 - C_2 \cdot l_2) & (C_1 \cdot l_1^2 + C_2 \cdot l_2^2 - J \cdot \lambda^2) \end{vmatrix} = 0. \quad (7)$$

Раскрывая определитель в (7) и выполняя очевидные алгебраические преобразования, получим характеристическое уравнение в виде:

$$\lambda^4 - \left(\frac{C_1 + C_2}{m} + \frac{C_1 \cdot l_1^2 + C_2 \cdot l_2^2}{J} \right) \cdot \lambda^2 + \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot (l_1 + l_2)^2}{m \cdot J} = 0. \quad (8)$$

Вычислив корни характеристического уравнения (8), найдем собственные частоты:

$$\Omega_{1,2} = \left\{ \frac{1}{2} \cdot \left[\left(\frac{C_1 + C_2}{m} + \frac{C_1 \cdot l_1^2 + C_2 \cdot l_2^2}{J} \right) \pm \sqrt{\left(\frac{C_1 + C_2}{m} + \frac{C_1 \cdot l_1^2 + C_2 \cdot l_2^2}{J} \right)^2 - \frac{4 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot (l_1 + l_2)^2}{m \cdot J}} \right] \right\}^{\frac{1}{2}}. \quad (9)$$

Составим выражение потенциальной энергии упругих сил рессор.

Из рис. 1 следует, что деформации рессор x_1 и x_2 можно определить по формулам:

$$x_1 \approx x + l_1 \cdot \varphi; \quad x_2 \approx x - l_2 \cdot \varphi. \quad (2)$$

Потенциальная энергия упругих сил определяется по формуле:

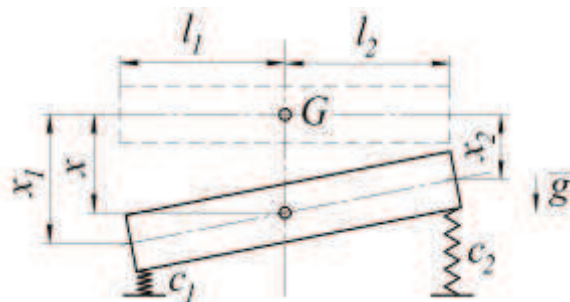


Рис. 1. Расчётная схема задачи
Fig. 1. Calculation chart of task

2. Синтез линейного регулятора для задачи оптимального управления нестационарными колебаниями автокрана в режиме пуска/торможения.

А. Минимизация угловых колебаний автокрана

Из первого уравнения системы (4) можно найти:

$$\varphi = \frac{-(m \cdot \ddot{x} + (C_1 + C_2) \cdot x)}{(C_1 \cdot l_1 - C_2 \cdot l_2)}. \quad (10)$$

Двукратное дифференцирование этого выражения по t (времени) даёт:

$$\ddot{\varphi} = \frac{-(m \cdot x^{(IV)} + (C_1 + C_2) \cdot \ddot{x})}{(C_1 \cdot l_1 - C_2 \cdot l_2)}. \quad (11)$$

Подставляя (10) и (11) во второе уравнение системы (4) получим:

$$x^{(IV)} + \frac{[(C_1 + C_2) \cdot J + (C_1 \cdot l_1^2 + C_2 \cdot l_2^2) \cdot m]}{J \cdot m} \cdot \ddot{x} + \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot (l_1 + l_2)^2}{J \cdot m} \cdot x = 0. \quad (12)$$

Считая период разгона/торможения автокрана равным T , введём критерий качества движения машины, при котором минимальны угловые его (автокрана) колебания:

$$\int_0^T \varphi^2 dt \Rightarrow \min. \quad (13)$$

Учитывая соотношение (10), критерий (13) можно представить иначе:

$$\int_0^T (m \cdot \ddot{x} + [C_1 + C_2] \cdot x)^2 dt \Rightarrow \min. \quad (14)$$

Необходимое условие реализации критерия (14), а, значит, и (13) есть уравнение Эйлера:

$$x^{(IV)} + 2 \cdot \Omega^2 \cdot \ddot{x} + \Omega^4 \cdot x = 0; \quad \Omega^2 = \frac{(C_1 + C_2)}{m}. \quad (15)$$

Вычитая (15) из (12) получаем уравнение, определяющее закон движения $x(t)$, при котором минимальны угловые колебания автокрана в процессе его разгона (пуска/торможения):

$$\left[\frac{(C_1 \cdot l_1^2 + C_2 \cdot l_2^2)}{J} - \Omega^2 \right] \cdot \ddot{x} + \left[\frac{C_1 \cdot C_2 \cdot (l_1 + l_2)^2}{J \cdot m} - \Omega^4 \right] \cdot x = 0. \quad (16)$$

Уравнение (16) можно представить в виде:

$$\ddot{x} + \omega_{\varphi_{\min}}^2 \cdot x = 0, \quad (17)$$

где

$$\omega_{\varphi_{\min}}^2 = \frac{\left[\frac{C_1 \cdot C_2 \cdot (l_1 + l_2)^2}{J \cdot m} - \Omega^4 \right]}{\left[\frac{(C_1 \cdot l_1^2 + C_2 \cdot l_2^2)}{J} - \Omega^2 \right]}. \quad (18)$$

Возможны три случая, которые определяют оптимальный (в смысле минимизации угла поворота корпуса автокрана φ) закон движения машины $x(t)$:

а) $\omega_{\varphi_{\min}}^2 > 0$; при этом выполняются неравенства:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot (l_1 + l_2)^2}{J \cdot m} - \Omega^4 > 0; \\ \frac{(C_1 \cdot l_1^2 + C_2 \cdot l_2^2)}{J} - \Omega^2 > 0; \end{array} \right. \text{ либо } \left\{ \begin{array}{l} \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot (l_1 + l_2)^2}{J \cdot m} - \Omega^4 < 0; \\ \frac{(C_1 \cdot l_1^2 + C_2 \cdot l_2^2)}{J} - \Omega^2 < 0. \end{array} \right. \quad (19)$$

Закон движения $x(t)$ имеет вид:

$$x(t) = A \cdot \sin(\omega_{\varphi_{\min}} \cdot t) + B \cdot \cos(\omega_{\varphi_{\min}} \cdot t). \quad (20)$$

б) $\omega_{\varphi_{\min}}^2 < 0$; при этом выполняются неравенства:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot (l_1 + l_2)^2}{J \cdot m} - \Omega^4 > 0; \\ \frac{(C_1 \cdot l_1^2 + C_2 \cdot l_2^2)}{J} - \Omega^2 < 0; \end{array} \right. \text{ либо } \left\{ \begin{array}{l} \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot (l_1 + l_2)^2}{J \cdot m} - \Omega^4 < 0; \\ \frac{(C_1 \cdot l_1^2 + C_2 \cdot l_2^2)}{J} - \Omega^2 > 0. \end{array} \right. \quad (21)$$

Закон движения $x(t)$ имеет в этом случае вид:

$$x(t) = A \cdot \exp(-|\omega_{\varphi_{\min}}^1| \cdot t) + B \cdot \exp(+|\omega_{\varphi_{\min}}^1| \cdot t). \quad (22)$$

в) $\omega_{\varphi_{\min}}^2 = 0$; при этом выполняется равенство:

$$\Omega^4 = \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot (l_1 + l_2)^2}{J \cdot m} \Rightarrow \frac{(C_1 + C_2)^2}{m^2} = \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot (l_1 + l_2)^2}{J \cdot m}. \quad (23)$$

Закон движения $x(t)$ имеет вид для этого случая:

$$x(t) = A + B \cdot t. \quad (24)$$

Следует подчеркнуть, что константы A и B в (20), (22) и (24) определяются из начальных условий задачи.

Б. Минимизация линейных (вертикальных) колебаний автокрана

Из второго уравнения системы (4) можно найти:

$$x = \frac{-(J \cdot \ddot{\varphi} + (C_1 \cdot l_1^2 + C_2 \cdot l_2^2) \cdot \varphi)}{(C_1 \cdot l_1 - C_2 \cdot l_2)}. \quad (25)$$

Двукратное дифференцирование этого выражения по t даёт:

$$\ddot{x} = \frac{-(J \cdot \varphi^{(IV)} + (C_1 \cdot l_1^2 + C_2 \cdot l_2^2) \cdot \ddot{\varphi})}{(C_1 \cdot l_1 - C_2 \cdot l_2)}. \quad (26)$$

Подставляя (25) и (26) в первое уравнение системы (4) получим:

$$\varphi^{(IV)} + \frac{[(C_1 + C_2) \cdot J + (C_1 \cdot l_1^2 + C_2 \cdot l_2^2) \cdot m]}{J \cdot m} \cdot \ddot{\varphi} + \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot (l_1 + l_2)^2}{J \cdot m} \cdot \varphi = 0. \quad (27)$$

Критерий качества движения машины теперь приобретает следующий вид:

$$\int_0^T x^2 dt \Rightarrow \min. \quad (28)$$

Учитывая соотношение (25), критерий (28) можно представить следующим образом:

$$\int_0^T (J \cdot \ddot{\varphi} + [C_1 \cdot l_1^2 + C_2 \cdot l_2^2] \cdot \varphi)^2 dt \Rightarrow \min. \quad (29)$$

Необходимое условие реализации критерия (29), а, значит, и (28) есть уравнение Эйлера:

$$\varphi^{(IV)} + 2 \cdot \tilde{\Omega}^2 \cdot \ddot{\varphi} + \tilde{\Omega}^4 \cdot \varphi = 0; \quad \tilde{\Omega}^2 = \frac{(C_1 \cdot l_1^2 + C_2 \cdot l_2^2)^{\frac{1}{2}}}{J^{\frac{1}{2}}}. \quad (30)$$

Вычитая (30) из (27) получаем уравнение, определяющее закон движения $\varphi(t)$, при котором минимальны линейные колебания по оси OX автокрана в процессе его разгона (пуска/торможения):

$$\left[\Omega^2 - \tilde{\Omega}^2 \right] \cdot \ddot{\varphi} + \left[\frac{C_1 \cdot C_2 \cdot (l_1 + l_2)^2}{J \cdot m} - \tilde{\Omega}^4 \right] \cdot \varphi = 0. \quad (31)$$

Уравнение (31) можно представить в виде:

$$\ddot{\varphi} + \omega_{x_{\min}}^2 \cdot \varphi = 0, \quad (32)$$

где

$$\omega_{x_{\min}}^2 = \frac{\left[\frac{C_1 \cdot C_2 \cdot (l_1 + l_2)^2}{J \cdot m} - \tilde{\Omega}^4 \right]}{\left[\Omega^2 - \tilde{\Omega}^2 \right]}. \quad (33)$$

Возможны три случая, которые определяют оптимальный (в смысле минимизации линейного перемещения вдоль оси OX корпуса автокрана) закон движения машины $\varphi(t)$:

а) $\omega_{x_{\min}}^2 > 0$; при этом выполняются неравенства:

$$\begin{cases} \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot (l_1 + l_2)^2}{J \cdot m} - \tilde{\Omega}^4 > 0; \\ \Omega^2 - \tilde{\Omega}^2 > 0; \end{cases} \quad \text{либо} \quad \begin{cases} \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot (l_1 + l_2)^2}{J \cdot m} - \tilde{\Omega}^4 < 0; \\ \Omega^2 - \tilde{\Omega}^2 < 0. \end{cases} \quad (34)$$

Закон движения $\varphi(t)$ имеет вид:

$$\varphi(t) = \tilde{A} \cdot \sin(\omega_{x_{\min}} \cdot t) + \tilde{B} \cdot \cos(\omega_{x_{\min}} \cdot t). \quad (35)$$

б) $\omega_{x_{\min}}^2 < 0$; при этом выполняются неравенства:

$$\begin{cases} \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot (l_1 + l_2)^2}{J \cdot m} - \tilde{\Omega}^4 < 0; \\ \Omega^2 - \tilde{\Omega}^2 > 0; \end{cases} \quad \text{либо} \quad \begin{cases} \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot (l_1 + l_2)^2}{J \cdot m} - \tilde{\Omega}^4 > 0; \\ \Omega^2 - \tilde{\Omega}^2 < 0. \end{cases} \quad (36)$$

Закон движения $\varphi(t)$ имеет в этом случае вид:

$$\varphi(t) = \tilde{A} \cdot \exp(-|\omega_{x_{\min}}| \cdot t) + \tilde{B} \cdot \exp(+|\omega_{x_{\min}}| \cdot t). \quad (37)$$

в) $\omega_{x_{\min}}^2 = 0$; при этом выполняется равенство:

$$\tilde{\Omega}^4 = \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot (l_1 + l_2)^2}{J \cdot m} \Rightarrow \frac{(C_1 \cdot l_1^2 + C_2 \cdot l_2^2)^2}{J^2} = \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot (l_1 + l_2)^2}{J \cdot m}. \quad (38)$$

Закон движения $\varphi(t)$ имеет вид для этого случая:

$$\varphi(t) = \tilde{A} + \tilde{B} \cdot t. \quad (39)$$

Константы \tilde{A} и \tilde{B} в (35), (37) и (39) определяются из начальных условий задачи.

СИНТЕЗ ЛИНЕЙНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ
НЕСТАЦИОНАРНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ АВТОМОБИЛЬНЫХ КРАНОВ

В. Синтез оптимального линейного регулятора переходных процессов автокрана, работающего в режимах пуска/торможения

Рассмотрим задачу синтеза оптимального линейного регулятора переходного процесса в автокране, работающем в режимах пуска/торможения. При этом критерий качества движения выберем в виде:

$$I = \int_0^1 \left[\gamma_1 \cdot (\varphi^{(IV)})^2 + \gamma_2 \cdot (\ddot{\varphi})^2 + \gamma_3 \cdot (\dot{\varphi})^2 + \gamma_4 \cdot \varphi^2 + \gamma_5 \cdot u^2 \right] d\tau \Rightarrow \max, \quad (40)$$

где $\tau = t/T$; T – продолжительность переходного процесса; $\gamma_{1,2,3,4,5}$ – неотрицательные весовые коэффициенты. Уравнения связей при этом приобретают следующий вид:

$$\begin{cases} \varphi(0) = \dot{\varphi}(0) = \ddot{\varphi}(0) = \ddot{\varphi}(0) = 0; & \ddot{\varphi} = a \cdot \varphi + b \cdot u; & u \equiv x; \\ a = -\frac{(C_1 \cdot l_1^2 + C_2 \cdot l_2^2)}{J}; & b = -\frac{(C_1 \cdot l_1 - C_2 \cdot l_2)}{J}; \\ \varphi^{(IV)} + \tilde{a} \cdot \ddot{\varphi} + \tilde{b} \cdot \varphi = 0; \\ \tilde{a} = \frac{(C_1 + C_2) \cdot J + (C_1 \cdot l_1^2 + C_2 \cdot l_2^2) \cdot m}{J \cdot m}; & \tilde{b} = \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot (l_1 + l_2)^2}{J \cdot m}. \end{cases} \quad (41)$$

Уравнение Р. Беллмана для этой задачи запишется как:

$$\psi_t = -\max \left[\begin{array}{l} -\gamma_1 \cdot (\varphi^{(IV)})^2 - \gamma_2 \cdot (\ddot{\varphi})^2 - \gamma_3 \cdot (\dot{\varphi})^2 - \gamma_4 \cdot \varphi^2 - \\ -\gamma_5 \cdot u^2 + \psi_\varphi \cdot \dot{\varphi} + \psi_{\dot{\varphi}} \cdot (a \cdot \varphi + b \cdot u) \end{array} \right]. \quad (42)$$

Так как ограничения на управление u отсутствуют (главная задача состоит в уменьшении колебаний автокрана по φ), и выражение, стоящее в квадратных скобках, выпукло по u , найдём $u^*(\varphi, \dot{\varphi}, t)$ из условия стационарности этого выражения:

$$u^*(\varphi, \dot{\varphi}, t) = \frac{b}{2 \cdot \gamma_5} \cdot \psi_{\dot{\varphi}}(\varphi, \dot{\varphi}, t); \quad (u^*(\varphi, \dot{\varphi}, t) - \text{оптимальное решение}), \quad (43)$$

и подставим u^* в (42):

$$\psi_t = \gamma_1 \cdot (\varphi^{(IV)})^2 + \gamma_2 \cdot (\ddot{\varphi})^2 + \gamma_3 \cdot (\dot{\varphi})^2 + \gamma_4 \cdot \varphi^2 - \psi_\varphi \cdot \dot{\varphi} - \psi_{\dot{\varphi}} \cdot a \cdot \varphi - \frac{b^2}{4 \cdot \gamma_5} \cdot \psi_{\dot{\varphi}}^2. \quad (44)$$

Мы пришли к дифференциальному уравнению в частных производных обычного типа, не содержащему операции максимума. Одним из способов решения таких уравнений является задание вида предполагаемого решения с точностью до коэффициентов с последующим определением их. Зададим $\psi(\varphi, \dot{\varphi}, t)$ в форме:

$$\psi(\varphi, \dot{\varphi}, t) = A_1 \cdot \dot{\varphi}^2 + 2 \cdot B_1 \cdot \dot{\varphi} \cdot \varphi + C_1 \cdot \varphi^2 \quad (45)$$

и подставим в (44), учитывая (41). Приравнявая коэффициенты при φ , $\dot{\varphi}$ и $\varphi \cdot \dot{\varphi}$ в левой и правой частях получившегося выражения, найдём коэффициенты A_1 , B_1 и C_1 из следующей нелинейной системы уравнений:

а) для B_1 –

$$2 \cdot B_1 \cdot \left(a + \frac{b^2}{\gamma_5} \cdot B_1 \right) = \gamma_1 \cdot \left(a \cdot \tilde{a} + \tilde{b} + \frac{b^2 \cdot \tilde{a} \cdot B_1}{\gamma_5} \right)^2 + \gamma_2 \cdot \left(a + \frac{b^2 \cdot B_1}{\gamma_5} \right)^2 + \gamma_4 - 2 \cdot B_1 \cdot a - \frac{b^2}{\gamma_5} \cdot B_1^2; \quad (46)$$

б) для A_1 (при найденном из (46) B_1) –

$$2 \cdot A_1^2 \cdot \frac{b^2}{\gamma_5} + 2 \cdot B_1 = \gamma_1 \cdot \left(\tilde{a} \cdot \frac{b^2}{\gamma_5} \cdot A_1 \right)^2 + \gamma_2 \cdot \frac{b^4 \cdot A_1^2}{\gamma_5^2} + \gamma_3 - 2 \cdot B_1 - \frac{b^2}{\gamma_5} \cdot A_1^2; \quad (47)$$

в) для C_1 (при найденных из (46) B_1 и из (47) A_1) –

$$A_1 \cdot (a + 2 \cdot B_1) + B_1 \cdot \frac{b^2}{\gamma_5} \cdot A_1 + C_1 = \gamma_1 \cdot \left(\tilde{a} \cdot a + \tilde{b} + \frac{b^2 \cdot \tilde{a} \cdot B_1}{\gamma_5} \right) \cdot \tilde{a} \cdot \frac{b^2}{\gamma_5} \cdot A_1 + \\ + \gamma_2 \cdot \left(a + \frac{b^2 \cdot B_1}{\gamma_5} \right) \cdot \frac{b^2 \cdot A_1}{\gamma_5} - C_1 - A_1 \cdot a - \frac{b^2}{\gamma_5} \cdot A_1 \cdot B_1; \quad (48)$$

Зная A_1 , B_1 и C_1 из системы уравнений (46)-(48), находим $u^*(\varphi, \dot{\varphi}, t)$:

$$u^*(\varphi, \dot{\varphi}, t) = + \frac{b}{2 \cdot \gamma_5} \cdot \{2 \cdot A_1 \cdot \dot{\varphi} + 2 \cdot B_1 \cdot \varphi\} = \frac{b}{\gamma_5} \cdot \{A_1 \cdot \dot{\varphi} + B_1 \cdot \varphi\}. \quad (49)$$

Начальные условия для φ и его производных по t (τ) заданы (41), поэтому, подставляя $u^*(\varphi, \dot{\varphi}, t)$ в уравнения связей (41), получаем $\varphi^*(t)$, которое ввиду отсутствия ограничений на φ допустимо, а в силу теоремы В.Ф. Кротова [5] оптимально. Отметим, что оптимальное решение в форме синтеза (49) линейно зависит от переменных состояния автокрана (φ , $\dot{\varphi}$), то есть оптимальным регулятором в данной задаче оказывается линейный регулятор (по углу φ и по угловой скорости $\dot{\varphi}$).

Уравнение для $\varphi^*(t)$ имеет следующий вид:

$$\ddot{\varphi}^* - \frac{b^2}{\gamma_5} \cdot A_1 \cdot \dot{\varphi}^* - \left(a + \frac{b^2}{\gamma_5} \cdot B_1 \right) \cdot \varphi^* = 0. \quad (50)$$

Характеристическое уравнение для (50) сводится к:

$$\lambda^2 - \frac{b^2 \cdot A_1}{\gamma_5} \cdot \lambda - \left(a + \frac{b^2}{\gamma_5} \cdot B_1 \right) = 0. \quad (51)$$

Возможны три варианта решений $\varphi^*(t)$ (50):

1) если

$$\frac{b^2}{\gamma_5} \cdot B_1 + a + \frac{b^4 \cdot A_1^2}{4 \cdot \gamma_5^2} > 0, \quad (52)$$

тогда $\lambda_{1,2}$ – действительные корни, определяемые соотношениями:

$$\lambda_{1,2} = \frac{b^2 \cdot A_1}{2 \cdot \gamma_5} \pm \left\{ \frac{b^4 \cdot A_1^2}{4 \cdot \gamma_5^2} + a + \frac{b^2}{\gamma_5} \cdot B_1 \right\}^{\frac{1}{2}}; \quad (53)$$

$$\varphi^*(t) = \overline{\overline{C}}_1 \cdot \exp\{\lambda_1 \cdot t\} + \overline{\overline{C}}_2 \cdot \exp\{\lambda_2 \cdot t\}; \quad (54)$$

2) если

$$\frac{b^2}{\gamma_5} \cdot B_1 + a + \frac{b^4 \cdot A_1^2}{4 \cdot \gamma_5^2} < 0, \quad (55)$$

тогда:

$$\varphi^*(t) = \overline{\overline{D}}_1 \cdot \exp\left\{ \frac{b^2 \cdot A_1 \cdot t}{2 \cdot \gamma_5} \right\}.$$

$$\cdot \sin \left[\left[\left(\frac{b^4 \cdot A_1^2}{4 \cdot \gamma_5^2} + a + \frac{b^2}{\gamma_5} \cdot B_1 \right) \right]^{\frac{1}{2}} \cdot t \right] + \\ + \overline{\overline{D}}_2 \cdot \exp\left\{ \frac{b^2 \cdot A_1 \cdot t}{2 \cdot \gamma_5} \right\}. \quad (56)$$

$$\cdot \cos \left[\left[\left(\frac{b^4 \cdot A_1^2}{4 \cdot \gamma_5^2} + a + \frac{b^2}{\gamma_5} \cdot B_1 \right) \right]^{\frac{1}{2}} \cdot t \right];$$

2) если

$$\frac{b^2}{\gamma_5} \cdot B_1 + a + \frac{b^4 \cdot A_1^2}{4 \cdot \gamma_5^2} = 0, \quad (57)$$

тогда:

СИНТЕЗ ЛИНЕЙНЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ ЗАДАЧ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫМИ КОЛЕБАНИЯМИ АВТОМОБИЛЬНЫХ КРАНОВ

$$\varphi^*(t) = \exp\left\{\frac{b^2 \cdot A_1 \cdot t}{2 \cdot \gamma_5}\right\} \cdot (\bar{E}_1 + \bar{E}_2 \cdot t). \quad (58)$$

Константы $\bar{C}_1, \bar{C}_2, \bar{D}_1, \bar{D}_2, \bar{E}_1, \bar{E}_2$ находим из начальных (ненулевых) условий. Весовые множители $\gamma_1 - \gamma_5$ в критерии (40) можно определить следующим образом. Если нормировать u на характерный в задаче размер $\Delta = \frac{m \cdot g}{(C_1 + C_2)}$, а φ на $(\Omega^* \cdot T)$, где

$$\Omega^* = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T \omega^*(t) dt, \quad \omega^*(t) - \text{мгновенная ча-}$$

стота процесса (колебательного), определяемая по методике [11] с помощью интегрального преобразования Гильберта для $\varphi(t)$, тогда под знаком интеграла в (40) все величины становятся безразмерными (производные берутся по безразмерному времени τ^*), а для весовых коэффициентов получим:

$$\gamma_5 = 1; \gamma_4 = (\Omega^* \cdot T)^2; \gamma_3 = (\Omega^*)^4 \cdot T^4; \\ \gamma_2 = (\Omega^*)^6 \cdot T^6; \gamma_1 = (\Omega^*)^{10} \cdot T^{10}. \quad (59)$$

При этом пределы интегрирования в (40) по $\tau^* = \Omega^* \cdot t$ изменяются – от 0 до $\Omega^* \cdot T$.

ВЫВОДЫ

1. Проведен всесторонний анализ задачи синтеза линейного регулятора для оптимального управления нестационарными колебаниями автомобильных кранов в рамках теории В.Ф. Кротова-Р. Беллмана. Получено уравнение Р. Беллмана и его решение, позволяющие определить параметры линейного регулятора продольно-угловых колебаний автокрана, который удовлетворяет заданному критерию качества движения всей системы (минимальным колебаниям платформы относительно положения равновесия).

2. Результаты работы могут в дальнейшем быть использованы для уточнения и усовершенствования существующих методов синтеза линейных регуляторов для оптимального управления нестационарными колебаниями автомобильных кранов в процессах их разгона/торможения, перехода на дру-

гой режим функционирования как при проектировании/конструировании подобных регуляторов, так и на стадии их реальной эксплуатации в системе автоматического управления автокраном посредством имеющихся в наличии мехатронных устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Krotov V.F. 1973: *Metody i zadachi optimalnogo upravleniya.* / V.F. Krotov, V.I. Gurman. – М.: Nauka. – 389.
2. Pontryagin L.S. 1961: *Matematicheskaya teoriya optimalnykh protsessov.* / L.S. Pontryagin, V.G. Boltyanskiy, R.V. Gamkrelidze, Ye.F. Mishchenko. – М.: Fizmatgiz. – 360.
3. Polyak B.T. 1983: *Vvedeniye v optimizatsiyu.* / B.T. Polyak. – М.: Nauka. – 384.
4. Tsirlin A.M. 1976: *Variatsionnyye metody optimizatsii upravlyayemykh ob'ektov.* / A.M. Tsirlin, V.S. Balakirev, Ye.G. Dudnikov. – М.: Energiya. – 448.
5. Tsirlin A.M. 1986: *Optimalnoye upravleniye tekhnologicheskimi protsessami.* / A.M. Tsirlin. – М.: Energoatomizdat. – 400.
6. Panovko Ya.G. 1967: *Osnovy prikladnoy teorii uprugikh kolebaniy.* / Ya.G. Panovko. – М.: Mashinostroyeniye. – 313.
7. Panovko Ya.G. 1979: *Ustoychivost i kolebaniya uprugikh sistem.* / Ya.G. Panovko, I.I. Gubanova. – М.: Fizmatgiz. – 381.
8. Timoshenko S.P. 1959: *Kolebaniya v inzhenernom dele.* / S.P. Timoshenko. – М.: Fizmatgiz. – 439.
9. Filippov A.P. 1965: *Kolebaniya mekhanicheskikh sistem.* / A.P. Filippov. – К.: Naukova dumka. – 715.
10. Grobov V.A. 1982: *Teoriya kolebaniy mekhanicheskikh sistem.* / V.A. Grobov. – К.: Vishcha shkola. Golovnoye izd-vo. – 183.
11. Dobrynin S.A. 1987: *Metody avtomatizirovannogo issledovaniya vibratsii mashin: Spravochnik.* / S.A. Dobrynin, M.S. Feldman, G.I. Firsov. – М.: Mashino-stroyeniye. – 224.
12. Goncharevich I.F. 1963: *Vibratsionnyye mashiny v stroitelstve. Osnovy teorii, proyektirovaniya i rascheta.* / I.F. Goncharevich, P.A. Sergeyev. – М.: Gosudarstvennoye nauchn.-tekhn. izd-vo mashinostroit. l-ry. – 312.
13. Kats A.M. 1947: *Vynuzhdennyye kolebaniya pri prokhozhenii cherez rezonans.* /

- A.M. Kats // *Inzhenernyy sbornik*. – T. III. – Vyp. 2.
14. Loveykin V.S. 1998: Kriterii otsinki rezhimiv rukhu mekhanizmiv i mashin. / V.S. Loveykin // *Zbirnik naukovikh prats NAU*. – Kiiiv: NAU. – T. 4. – 8-12.
15. Loveykin V.S. 1999: Optimizatsiya rezhimiv rukhu mashin i mekhanizmiv. / V.S. Loveykin // *Mashinoznavstvo*. – № 7 (25). – 24-31.
16. Chovnyuk Yu.V. 2011: Utochnena dinamichna model rukhu vizka z vantazhem na gnuchkomu pidvisi. / Yu.V. Chovnyuk, V.S. Loveykin, Yu.O. Romasevich // *MOTROL*. – V. 13B. – 130-137.
17. Gorskiy B.E. 1989: Kriterii dinamicheskogo sovershenstvovaniya mekhanicheskikh sistem. / B.E. Gorskiy, V.S. Loveykin // *Teoriya mashin metallurgicheskogo i gornogo oborudovaniya*. – Sverdlovsk: UPI. – Vyp. 13. – 98-102.
18. Goloskokov Ye.G. 1966: Nestatsionarnyye kolebaniya mekhanicheskikh sistem. / Ye.G. Golo-skokov, A.P. Filippov. – K.: Naukova dumka. – 336.
19. Loveykin V.S. 2011: Optimizatsiya rezhimu zmini vilotu vantazhu bashtovogo krana za odinichnimi kinematichnimi kriteriyami. / V.S. Loveykin, Yu.O. Romasevich, G.V. Shumilov // *MOTROL*. Motorization and power industry in agriculture. – Tom 13 B. – Lublin. – 167-174.
20. Kvakernaak Kh. 1977: Lineynyye optimalnyye sistemy upravleniya. / Kh. Kvakernaak, R. Sivan. – M.: Mir. – 650.
21. Sobol I.M. 1981: Vybor optimalnykh parametrov v zadachakh so mnogimi kriteriyami. / I.M. Sobol, R.B. Statnikov. – M.: Nauka. – 110.

signment formulated by V.F. Krotov it is set and resolved by means of the Bellman unidentified coefficients equation.

Key words: synthesis, linear controllers, optimizing control, transient oscillations, automobile cranes.

LINEAR CONTROLLER SYNTHESIS FOR GOALS OF OPTIMIZING CONTROL OVER TRANSIENT OSCILLATIONS OF AUTOMOBILE CRANES

Summary. The synthesis of the linear controllers for the goals of the optimizing control over the transient oscillations arising in the triggering and braking modes of the automobile cranes is presented. For reasoning sufficient conditions of optimality as to resolving of the indicated as-

КРИТЕРИИ ДИНАМИЧЕСКОГО УРАВНОВЕШИВАНИЯ ПРИВОДНОГО МЕХАНИЗМА РЕШЕТНЫХ СТАНОВ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

Вячеслав Ловейкин, Василий Кулик, Оксана Кулик

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15

Vyacheslav Loveykin, Vasiliy Kulik, Oksana Kulik

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Приведены исследования динамической неуравновешенности приводных механизмов решетных станов зерноочистительных машин в зависимости от угла смещения эксцентров приводного механизма решетных станов.

Ключевые слова: приводной механизм, приводной вал, сила инерции, решетные станы, динамическая неуравновешенность, эксцентрик.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Зерноочистительные машины с решетными станами работают в интенсивном динамическом режиме. Это связано с тем, что решетные станы осуществляют колебательные возвратно-поступательные движения со значительной частотой (до 500 об/мин) [1, 2]. При таком режиме работы решетных станом имеет место значительная неравномерность движения звеньев приводного механизма и, как следствие, возникновение значительных динамических нагрузок в отдельных звеньях и рамной конструкции всей машины [3]. В существующих конструкциях зерноочистительных машин решетные станы приводятся в движение от единого приводного эксцентрового механизма, эксцентрики которых смещены один относительно другого на угол π [4]. Кроме того, предложено конструкции приводных механизмов решетных станом зерноочистительных машин с углом смещения эксцентров $\pi/2$ [5].

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Предыдущими исследованиями в машинах подобного типа установлено, что величина угла смещения эксцентров имеет

значительное влияние на неравномерность движения приводного механизма и динамику всей машины [6]. В работах [7-11] разработана математическая модель динамики движения решетной зерноочистительной машины с рекуперативным приводом. Влияние угла смещения эксцентров на неравномерность движения, силовые и энергетические характеристики приводного механизма решетных станом зерноочистительной машины с рекуперативным приводом установлено в работах [12-16]. Также были оптимизированы конструктивные параметры приводного механизма решетных станом зерноочистительных машин с рекуперативным приводом [17-18] и обоснованы конструктивно-технологические параметры сепарирующих поверхностей [19].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является определение влияния изменения угла смещения эксцентров приводных механизмов решетных станом зерноочистительных машин на их динамическую уравновешенность.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На рис. 1 представлено кинематическую схему приводного механизма решетных станом зерноочистительной машины со смещенными эксцентриками один относительно другого на угол $\Delta\varphi$ и силами, действующими на звенья механизма. На этой схеме приняты следующие обозначения: G_1, G_2 – соответственно вес решетных станом 1, 2; F_{O1}, F_{O2} – силы, оказывающие сопротивление перемещению соответственно решетных станом 1 и 2;

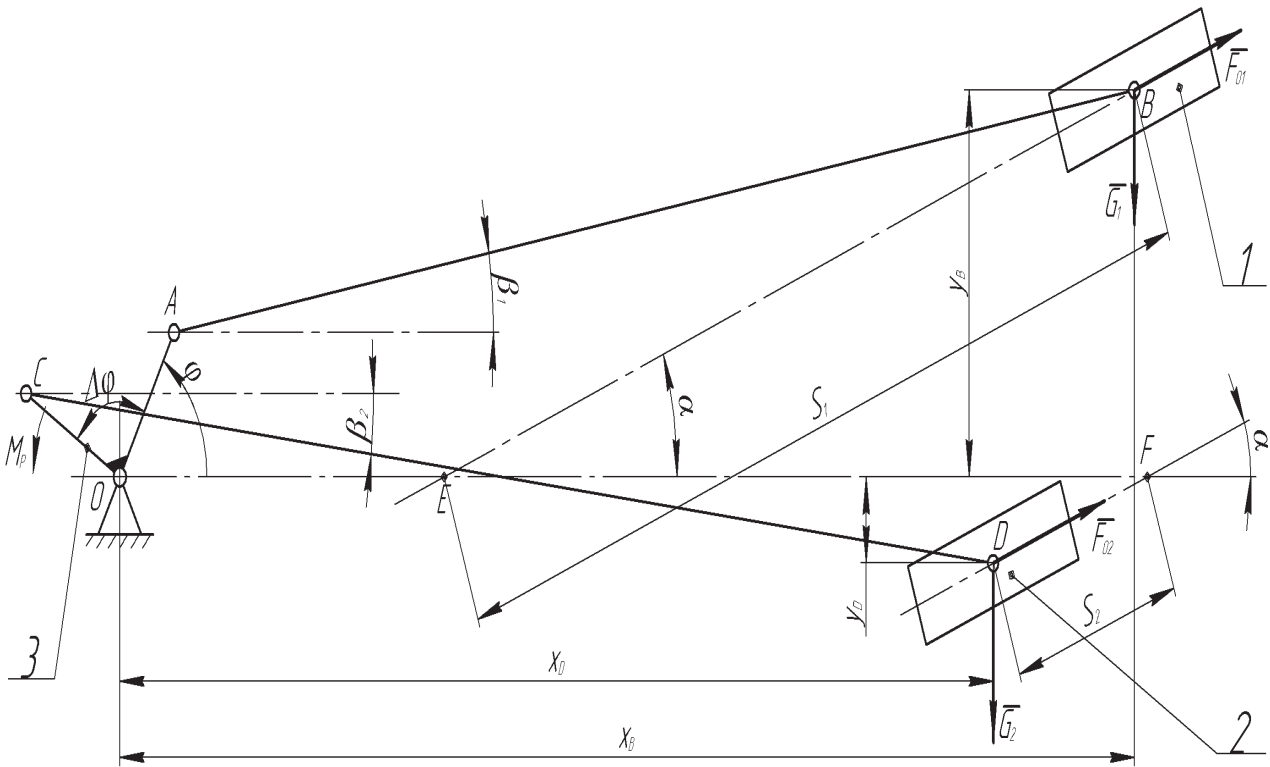


Рис. 1. Кинематическая схема приводного механизма решетных станов зерноочистительных машин:

1 – верхний решетный стан; 2 – нижний решетный стан; 3 – эксцентрик

Fig. 1. Kinematics chart of drive mechanism of sieve figures of grain cleaners

M_p – движущий момент, действующий на приводном валу O ; S_1, S_2 – перемещения соответствию решетных станов 1 и 2; α – угол наклона к горизонту направляющих перемещения решетных станов.

Исследование режимов движения зерновой смеси на подобных решетных станах приведены в [20-21], где определены параметры их колебаний, которые обеспечивают безостановочный режим движения зерновой смеси и без отрыва ее от решета.

Для исследования динамики движения приводного механизма решетных станов, последний представим как голономную механическую систему, состоящую из абсолютно твердых звеньев. При этом пренебрежем массами шатунов AB и CD , поскольку

они значительно меньше массы решетных станов m_1 и m_2 .

В такой модели за обобщенную координату примем угловую координату φ поворота эксцентрика OA . Координаты движения всех других звеньев выражаются через координату φ .

Выразим линейные координаты S_1 и S_2 перемещения центров масс решетных станов 1 и 2 через обобщенную координату φ . Для этого спроектируем на координатные оси x и y стороны четырехугольников $OABE$ и $OCDF$, которые представим в виде векторов. В результате получим систему из четырех уравнений:

$$\begin{cases} l_{OA} \cdot \sin \varphi + l_{AB} \cdot \sin \beta_1 - S_1 \cdot \sin \alpha = 0; \\ l_{OA} \cdot \cos \varphi + l_{AB} \cdot \cos \beta_1 - S_1 \cdot \cos \alpha - l_{EO} = 0; \\ l_{OC} \cdot \sin(\varphi + \Delta\varphi) - l_{CD} \cdot \sin \beta_2 + S_2 \cdot \sin \alpha = 0; \\ -l_{OC} \cdot \cos(\varphi + \Delta\varphi) + l_{CD} \cdot \cos \beta_2 + S_2 \cdot \cos \alpha - l_{FO} = 0; \end{cases} \quad (1)$$

КРИТЕРИИ ДИНАМИЧЕСКОГО УРАВНОВЕШИВАНИЯ ПРИВОДНОГО МЕХАНИЗМА
РЕШЕТНЫХ СТАНОВ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

где $l_{OA}, l_{AB}, l_{OC}, l_{CD}, l_{EO}, l_{FO}$ – длины соответственно звеньев OA, AB, OC, CD, EO и FO ; β_1 и β_2 – соответственно углы наклона к горизонту шатунов AB и CD .

В системе из четырех уравнений (1) четыре неизвестных: S_1, S_2 – перемещение центров масс решетных станов 1 и 2 и β_1, β_2 – углы наклона к горизонту шатунов AB и CD . Выразим эти неизвестные. Для этого

$$l_{OA} \cdot \cos \varphi + l_{AB} \cdot \cos \beta_1 - \left(l_{OA} \cdot \frac{\sin \varphi}{\sin \alpha} + l_{AB} \cdot \frac{\sin \beta_1}{\sin \alpha} \right) \cdot \cos \alpha - l_{ED} = 0,$$

$$l_{OA} \cdot \cos \varphi + l_{AB} \cdot \cos \beta_1 - l_{OA} \cdot \cot \alpha \cdot \sin \varphi - l_{AB} \cdot \cot \alpha \cdot \sin \beta_1 - l_{ED} = 0.$$

В последнем уравнении сделаем замену $\cos \beta_1 = \sqrt{1 - \sin^2 \beta_1}$ в результате этого будем иметь:

$$l_{AB} \cdot \sqrt{1 - \sin^2 \beta_1} = l_{ED} + l_{AB} \cdot \cot \alpha \cdot \sin \beta_1 + l_{OA} \cdot \cot \alpha \cdot \sin \varphi - l_{OA} \cdot \cos \varphi.$$

Поднесем к квадрату левую и правую части, получим уравнение:

$$l_{AB}^2 - l_{AB}^2 \cdot \sin^2 \beta = l_{EO}^2 + l_{AB}^2 \cdot \cot^2 \alpha \cdot \sin^2 \beta_1 + l_{OA}^2 \cdot \cot^2 \alpha \cdot \sin^2 \varphi + l_{OA}^2 \cdot \cos^2 \varphi +$$

$$+ 2l_{EO} \cdot l_{AB} \cdot \cot \alpha \cdot \sin \beta_1 + 2l_{EO} \cdot l_{OA} \cdot \cot \alpha \cdot \sin \varphi - 2l_{EO} \cdot l_{OA} \cdot \cos \varphi +$$

$$+ 2l_{EO} \cdot l_{OA} \cdot \cot^2 \alpha \cdot \sin \varphi \cdot \sin \beta_1 - 2l_{AB} \cdot l_{OA} \cdot \cot \alpha \cdot \cos \varphi \cdot \sin \beta_1 - 2l_{OA}^2 \cdot \cot \alpha \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi.$$

Перенесем в правую часть все члены этого уравнения, в результате чего будем иметь:

$$l_{AB}^2 \cdot (1 + \cot^2 \alpha) \cdot \sin^2 \beta_1 + 2l_{AB} \cdot \cot \alpha (l_{EO} + l_{OA} \cdot \cot \alpha \cdot \sin \varphi - l_{OA} \cdot \cos \varphi) \sin \beta_1 - l_{AB}^2 + l_{EO}^2 +$$

$$+ l_{OA}^2 \cdot \cot^2 \alpha \cdot \sin^2 \varphi + l_{OA}^2 \cdot \cos^2 \varphi + 2l_{EO} \cdot l_{OA} \cdot \cot \alpha \cdot \sin \varphi - 2l_{EO} \cdot l_{OA} \cdot \cos \varphi -$$

$$- 2l_{OA}^2 \cdot \cot \alpha \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi = 0.$$

Перепишем полученное квадратное уравнение в следующем виде:

$$l_{AB}^2 \cdot (1 + \cot^2 \alpha) \cdot \sin^2 \beta_1 + 2l_{AB} \cdot \cot \alpha (l_{EO} + l_{OA} \cdot \cot \alpha \cdot \sin \varphi - l_{OA} \cdot \cos \varphi) \sin \beta_1 - l_{AB}^2 + l_{EO}^2 +$$

$$+ l_{OA}^2 (\cot^2 \alpha \cdot \sin^2 \varphi - 2 \cdot \cot \alpha \cdot \sin \varphi \cdot \cos \varphi + \cos^2 \varphi) + 2l_{OA} \cdot l_{EO} (\cot \alpha \cdot \sin \varphi - \cos \varphi) = 0.$$

$$l_{AB}^2 \cdot (1 + \cot^2 \alpha) \cdot \sin^2 \beta_1 + 2l_{AB} \cdot \cot \alpha (l_{EO} + l_{OA} (\cot \alpha \cdot \sin \varphi - \cos \varphi)) \sin \beta_1 - l_{AB}^2 + l_{EO}^2 +$$

$$+ l_{OA}^2 (\cot \alpha \cdot \sin \varphi - \cos \varphi)^2 + 2l_{OA} \cdot l_{EO} (\cot \alpha \cdot \sin \varphi - \cos \varphi) = 0.$$

$$l_{AB}^2 \cdot (1 + \cot^2 \alpha) \cdot \sin^2 \beta_1 + 2l_{AB} \cdot \cot \alpha [l_{EO} + l_{OA} (\cot \alpha \cdot \sin \varphi - \cos \varphi)] \sin \beta_1 -$$

$$- l_{AB}^2 + [l_{OA} (\cot \alpha \cdot \sin \varphi - \cos \varphi) + l_{EO}]^2 = 0. \quad (3)$$

Определим корни квадратного уравнения (3)

$$\sin \beta_1 = \frac{1}{l_{AB} (1 + \cot^2 \alpha)} \cdot \left\{ \frac{-\cot \alpha [l_{EO} + l_{OA} (\cot \alpha \cdot \sin \varphi - \cos \varphi)] \pm \sqrt{l_{AB}^2 (1 + \cot^2 \alpha) - [l_{EO} + l_{OA} (\cot \alpha \cdot \sin \varphi - \cos \varphi)]^2}}{1} \right\}. \quad (4)$$

Из двух корней выражения (4) необходимо выбрать такой, который соответствует условию $|\sin \beta_1| \leq 1$.

Кроме того, из конструктивных соображений угол β_1 принимает значения в пределах $\pm 10^\circ$ и изменяется в незначительных пределах.

из первого уравнения системы (1) выразим перемещение центра масс первого решетного стана, т.е.

$$S_1 = \frac{1}{\sin \alpha} (l_{OA} \cdot \sin \varphi + l_{AB} \cdot \sin \beta_1). \quad (2)$$

Подставим выражение (2) во второе уравнение системы (1) и определим угловую координату β_1

Тогда угол β_1 можно определить из зависимости:

$$\beta_1 = \arcsin \frac{1}{l_{AB}(1 + \cot^2 \alpha)} \left\{ \frac{-\cot \alpha [l_{EO} + l_{OA}(\cot \alpha \cdot \sin \varphi - \cos \varphi)] \pm \sqrt{l_{AB}^2(1 + \cot^2 \alpha) - [l_{EO} + l_{OA}(\cot \alpha \cdot \sin \varphi - \cos \varphi)]^2}}{\pm} \right\}. \quad (5)$$

Аналогично перемещению S_1 и угловой координате β_1 определим из системы (1) перемещение S_2 и угловую координату β_2 . С третьего уравнения системы (1) определим перемещения центра масс второго решета:

$$S_2 = \frac{1}{\sin \alpha} [-l_{OC} \cdot \sin(\varphi + \Delta\varphi) + l_{CD} \cdot \sin \beta_2]. \quad (6)$$

Подставим выражение (6) в четвертое уравнение (1) и выразим из него угловую координату β_2

$$-l_{OC} \cdot \cos(\varphi + \Delta\varphi) + l_{CD} \cdot \cos \beta_2 - l_{OC} \cdot \cot \alpha \cdot \sin(\varphi + \Delta\varphi) + l_{CD} \cdot \cot \alpha \cdot \sin \beta_2 - l_{FO} = 0.$$

В полученном уравнении сделаем замену $\cos \beta_2 = \sqrt{1 - \sin^2 \beta_2}$, после чего получим:

$$l_{CD}^2(1 + \cot^2 \alpha) \sin^2 \beta_2 - 2l_{CD} \cdot \cot \alpha \{l_{OC} [\cos(\varphi + \Delta\varphi) + \cot \alpha \cdot \sin(\varphi + \Delta\varphi) + l_{FO}]\} \sin \beta_2 + \{l_{OC} \cdot [\cos(\varphi + \Delta\varphi) + \cot \alpha \cdot \sin(\varphi + \Delta\varphi)] + l_{FO}\}^2 - l_{CD}^2. \quad (7)$$

Определим корни квадратного уравнения (7):

$$\sin \beta_2 = \frac{1}{l_{CD}(1 + \cot^2 \alpha)} \left\{ \cot \alpha \{l_{OC} [\cos(\varphi + \Delta\varphi) + \cot \alpha \cdot \sin(\varphi + \Delta\varphi)] + l_{FO}\} \pm \sqrt{l_{CD}^2(1 + \cot^2 \alpha) - \{l_{OC} [\cos(\varphi + \Delta\varphi) + \cot \alpha \cdot \sin(\varphi + \Delta\varphi)] + l_{FO}\}^2} \right\} \quad (8)$$

Аналогично корню $\sin \beta_1$ выбирается корень $|\sin \beta_2| \leq 1$.

Угловая координата определяется следующей зависимостью:

$$\beta_2 = \arcsin \frac{1}{l_{CD}(1 + \cot^2 \alpha)} \left\{ \cot \alpha \{l_{OC} [\cos(\varphi + \Delta\varphi) + \cot \alpha \cdot \sin(\varphi + \Delta\varphi)] + l_{FO}\} \pm \sqrt{l_{CD}^2(1 + \cot^2 \alpha) - \{l_{OC} [\cos(\varphi + \Delta\varphi) + \cot \alpha \cdot \sin(\varphi + \Delta\varphi)] + l_{FO}\}^2} \right\} \quad (9)$$

При динамическом анализе быстроходных механизмов, к которым относится приводной механизм решетных станов, необходимо решить две задачи динамического уравновешивания:

1) уравновешивание силы инерции, которая приложена в центре масс подвижных звеньев приводного механизма решетных станов;

2) уравновешивание приведенного к приводному валу крутящего момента, возникающего от действия силы инерции.

Для решения первой задачи необходимо, чтобы центр масс приводного механизма вместе с решетными станами при их движении не перемещался, т.е. для очистительного механизма, который рассматривается как плоский механизм, должно выполняться условие:

$$x_C = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{\sum_{i=1}^n m_i} = const;$$

$$y_C = \frac{\sum_{i=1}^n m_i y_i}{\sum_{i=1}^n m_i} = const, \quad (10)$$

где: m_i – масса i -го ($i = 1, 2, \dots, n$) звена механизма; x_i, y_i – координаты центра масс i -го звена механизма.

В рассматриваемом механизме зерноочистительной машины (рис. 1), где массы шатунов (9) значительно меньше массы решет, а координаты приводного вала совпадают с направлением координат зависимости (10)

приобретают вид:

$$\begin{aligned} x_C &= \frac{m_1 x_B + m_2 x_D}{m_1 + m_2} = const; \\ y_C &= \frac{m_1 y_B + m_2 y_D}{m_1 + m_2} = const. \end{aligned} \quad (11)$$

Если дважды дифференцировать по времени зависимости (11), то получим:

$$\begin{aligned} \ddot{x}_C &= \frac{m_1 \ddot{x}_B + m_2 \ddot{x}_D}{m_1 + m_2} = 0, \\ \ddot{y}_C &= \frac{m_1 \ddot{y}_B + m_2 \ddot{y}_D}{m_1 + m_2} = 0, \end{aligned} \quad (12)$$

где: $\ddot{x}_B, \ddot{y}_B, \ddot{x}_D, \ddot{y}_D$ – горизонтальная и вертикальная составляющие ускорений соответственно точек B и D .

Зависимость (12) можно переписать в таком виде:

$$\begin{aligned} F_{iCx} &= (m_1 + m_2) \ddot{x}_C = m_1 \ddot{x}_B + m_2 \ddot{x}_D = 0; \\ F_{iCy} &= (m_1 + m_2) \ddot{y}_C = m_1 \ddot{y}_B + m_2 \ddot{y}_D = 0, \end{aligned} \quad (13)$$

где F_{iCx}, F_{iCy} – горизонтальная и вертикальная составляющие сведенной к центру масс механизма сил инерции от действия сил инерции отдельных звеньев.

Если условие (13) не выполняется, то имеет место неуравновешенность сил инерции. Критерием этой неуравновешенности может быть суммарное значение силы инерции, сведенных к центру масс приводного механизма и выражается зависимостью:

$$\begin{aligned} F_{iC} &= \sqrt{F_{iCx}^2 + F_{iCy}^2} = \\ &= \sqrt{(m_1 \ddot{x}_B + m_2 \ddot{x}_D)^2 + (m_1 \ddot{y}_B + m_2 \ddot{y}_D)^2}. \end{aligned} \quad (14)$$

За один цикл движения очистной машины (один оборот эксцентрика) неуравновешенность сил инерции может быть оценена максимальным значением сведенной к центру масс приводного механизма (10) суммарной силы инерции $F_{iC \max}$ или ее среднеквадратичным значением, которое определяется зависимостью:

$$\bar{F}_{iC} = \sqrt{\frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} \left[(m_1 \ddot{x}_B + m_2 \ddot{x}_D)^2 + (m_1 \ddot{y}_B + m_2 \ddot{y}_D)^2 \right] dt}, \quad (15)$$

где: $t_1 = 2\pi/\omega$ – длительность цикла движения очистного механизма; ω – номинальное значение угловой скорости приводного

вала очистной машины.

В некоторых случаях целесообразно оценивать неуравновешенность сил инерции, действующих на звенья механизма, с помощью безразмерного критерия, который может быть представлен отношением среднеквадратических значений сведенных к центрам масс механизмов сил инерции приводных механизмов с двумя и одним решетным станом, который имеет вид:

$$K_{Fi} = \sqrt{\frac{(m_1 \ddot{x}_B + m_2 \ddot{x}_D)^2 + (m_1 \ddot{y}_B + m_2 \ddot{y}_D)^2}{m_1^2 (\ddot{x}_B^2 + \ddot{y}_B^2)}} dt. \quad (16)$$

Для обеспечения уравновешивания сведенного к приводному валу крутящего момента, возникающего от действия сил инерции и потенциальных сил, необходимо использование условия:

$$T + \Pi = const \text{ или } \frac{\partial(T + \Pi)}{\partial \varphi} = 0, \quad (17)$$

где T, Π – соответственно кинетическая и потенциальная энергия приводного механизма решетных станом зерноочистительной машины.

Если условие (17) не выполняется, то имеет место неуравновешенности сведенного к приводному валу крутящего момента, возникающего от действия силы инерции и потенциальных сил. Критерием этой неуравновешенности может быть значение сведенного крутящего момента, которое определяется зависимостью:

$$M_{i\Pi} = \frac{\partial(T + \Pi)}{\partial \varphi}. \quad (18)$$

За один цикл движения очистительной машины неуравновешенность сведенного к приводному валу крутящего момента, возникающего от действия сил инерции и потенциальных сил, может быть оценена его максимальным значением $M_{i\Pi \max}$ или среднеквадратическим значением, которое определяется зависимостью:

$$M_{i\Pi} = \sqrt{\frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} \left(\frac{\partial(T + \Pi)}{\partial \varphi} \right)^2 dt}. \quad (19)$$

Для рассматриваемой схемы приводного механизма решетных станов зерноочистительной машины (рис. 2) кинетическая и потенциальная энергия определяются зависимостями:

$$T = \frac{1}{2} J_{3B} \omega^2 + \frac{1}{2} m_1 (\dot{x}_B^2 + \dot{y}_B^2) + \frac{1}{2} m_2 (\dot{x}_D^2 + \dot{y}_D^2); \quad (20)$$

$$\Pi = m_1 g y_B + m_2 g y_D. \quad (21)$$

Здесь J_{3B} – сведенный к оси приводного вала момент инерции ротора приводного двигателя, передаточного механизма и приводного вала; g – ускорение свободного падения.

Учитывая то, что $y_B = S_1 \cos \alpha$, $y_D = S_2 \cos \alpha$, $\dot{x}_B^2 + \dot{y}_B^2 = \dot{S}_1^2$, $\dot{x}_D^2 + \dot{y}_D^2 = \dot{S}_2^2$ выражения (20) и (21) приобретают вид:

$$T = \frac{1}{2} J_{3B} \omega^2 + \frac{1}{2} m_1 \dot{S}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \dot{S}_2^2, \quad (22)$$

$$\Pi = m_1 g S_1 \cos \alpha + m_2 g S_2 \cos \alpha = (m_1 S_1 + m_2 S_2) g \cos \alpha. \quad (23)$$

Поскольку

$$\dot{S}_1 = \omega \frac{\partial S_1}{\partial \varphi}, \quad \dot{S}_2 = \omega \frac{\partial S_2}{\partial \varphi}, \quad (24)$$

то с учетом этих выражений и зависимостей (22) и (23) сведенный крутящий момент, который определяется соотношением (18), имеет вид:

$$M_{\text{п}} = \omega^2 \left(m_1 \cdot \frac{\partial S_1}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial^2 S_1}{\partial \varphi^2} + m_2 \cdot \frac{\partial S_2}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial^2 S_2}{\partial \varphi^2} \right) + \left(m_1 \cdot \frac{\partial S_1}{\partial \varphi} + m_2 \cdot \frac{\partial S_2}{\partial \varphi} \right) g \cos \alpha. \quad (25)$$

Используя выражения (19) и (25), определим среднее значение сведенного крутящего момента от действия сил инерции и потенциальных сил:

$$\overline{M}_{\text{п}} = \sqrt{\frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} \left[\omega^2 \left(m_1 \cdot \frac{\partial S_1}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial^2 S_1}{\partial \varphi^2} + m_2 \cdot \frac{\partial S_2}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial^2 S_2}{\partial \varphi^2} \right) + \left(m_1 \cdot \frac{\partial S_1}{\partial \varphi} + m_2 \cdot \frac{\partial S_2}{\partial \varphi} \right) g \cos \alpha \right]^2 dt}. \quad (26)$$

Оценим также неуравновешенность крутящего момента от действия сил инерции и потенциальных сил с помощью безразмерного критерия, который представим отношением среднеквадратических сведенных крутящих моментов от действия сил инерции и потенциальных сил для двух и одного решетных станом:

$$K_{\text{Mip}} = \sqrt{\frac{\int_0^{t_1} \left[\left(m_1 \cdot \frac{\partial S_1}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial^2 S_1}{\partial \varphi^2} + m_2 \cdot \frac{\partial S_2}{\partial \varphi} \cdot \frac{\partial^2 S_2}{\partial \varphi^2} \right) + \left(m_1 \cdot \frac{\partial S_1}{\partial \varphi} + m_2 \cdot \frac{\partial S_2}{\partial \varphi} \right) g \cos \alpha \right]^2 dt}{\int_0^{t_1} \left[m_1 \cdot \frac{\partial S_1}{\partial \varphi} \left(\omega^2 \frac{\partial^2 S_1}{\partial \varphi^2} + g \cos \alpha \right) \right]^2 dt}}. \quad (27)$$

Учитывая, что при постоянной угловой скорости приводного вала ($\omega = \text{const}$) составляющие ускорений точек B и D определяются зависимостями:

$$\ddot{x}_B = \omega^2 \frac{\partial^2 S_1}{\partial \varphi^2} \cos \alpha; \quad \ddot{y}_B = \omega^2 \frac{\partial^2 S_1}{\partial \varphi^2} \cos \alpha; \quad (28)$$

$$\ddot{x}_D = \omega^2 \frac{\partial^2 S_2}{\partial \varphi^2} \cos \alpha; \quad \ddot{y}_D = \omega^2 \frac{\partial^2 S_2}{\partial \varphi^2} \cos \alpha,$$

то выражения критериев (14), ..., (16) приобретают следующий вид:

$$F_{iC} = \omega^2 \left(m_1 \frac{\partial^2 S_1}{\partial \varphi^2} + m_2 \frac{\partial^2 S_2}{\partial \varphi^2} \right); \quad (29)$$

$$\bar{F}_{iC} = \omega^2 \sqrt{\frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} \left(m_1 \frac{\partial^2 S_1}{\partial \varphi^2} + m_2 \frac{\partial^2 S_2}{\partial \varphi^2} \right)^2 dt}; \quad (30)$$

$$K_{Fi} = \sqrt{\frac{\frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} \left(m_1 \frac{\partial^2 S_1}{\partial \varphi^2} + m_2 \frac{\partial^2 S_2}{\partial \varphi^2} \right)^2 dt}{m_1^2 \left(\frac{\partial^2 S_1}{\partial \varphi^2} \right)^2}} = \sqrt{\frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} \left(1 + \frac{m_2}{m_1} \cdot \frac{\frac{\partial^2 S_2}{\partial \varphi^2}}{\frac{\partial^2 S_1}{\partial \varphi^2}} \right)^2 dt}. \quad (31)$$

Частные производные $\frac{\partial S_1}{\partial \varphi}$, $\frac{\partial S_2}{\partial \varphi}$, $\frac{\partial^2 S_1}{\partial \varphi^2}$ и $\frac{\partial^2 S_2}{\partial \varphi^2}$ определяются путем однократного или двукратного дифференцирования функций перемещения центров масс решетчатых станов, которые определяются зависимостями (2) и (4) с учетом выражений (5) и (9) по обобщенной координате φ .

Для зерноочистительной машины решетчатого типа с параметрами: $l_{OA} = l_{OC} = 0,0075 \text{ м}$; $l_{AB} = l_{CD} = 0,456 \text{ м}$; $l_{OE} = -0,47 \text{ м}$; $l_{OF} = 0,26 \text{ м}$; $\alpha = 0,14 \text{ рад}$; $m_1 = m_2 = 110 \text{ кг}$; $\omega = 51 \text{ рад/с}$, определено суммарное значение силы инерции F_{iC} , которое сведено к центру масс приводного вала решетчатых станов, и сведенный к оси поворота приводного вала крутящий момент от сил инерции и потенциальных сил $M_{iП}$ в течение

этого цикла движения ($0 \leq \varphi \leq 2\pi$) при различных значениях угла смещения эксцентров $\Delta\varphi$ (рис. 2–3).

Найдено также максимальные значения $F_{iC \max}$ и $M_{iП \max}$ для различных значений $\Delta\varphi$ (табл. 1). Определены также среднеквадратические значения силы инерции \bar{F}_{iC} и крутящего момента, приведенного к оси поворота приводного вала от действия силы инерции и потенциальных сил $\bar{M}_{iП}$ в зависимости от значения угла $\Delta\varphi$ (табл. 1). В таблице 1 также приведены значения безразмерных коэффициентов K_{Fi} , K_{Mip} , которые определены по формулам (27) и (31), графики изменения которых представлены на рис. 4–5.

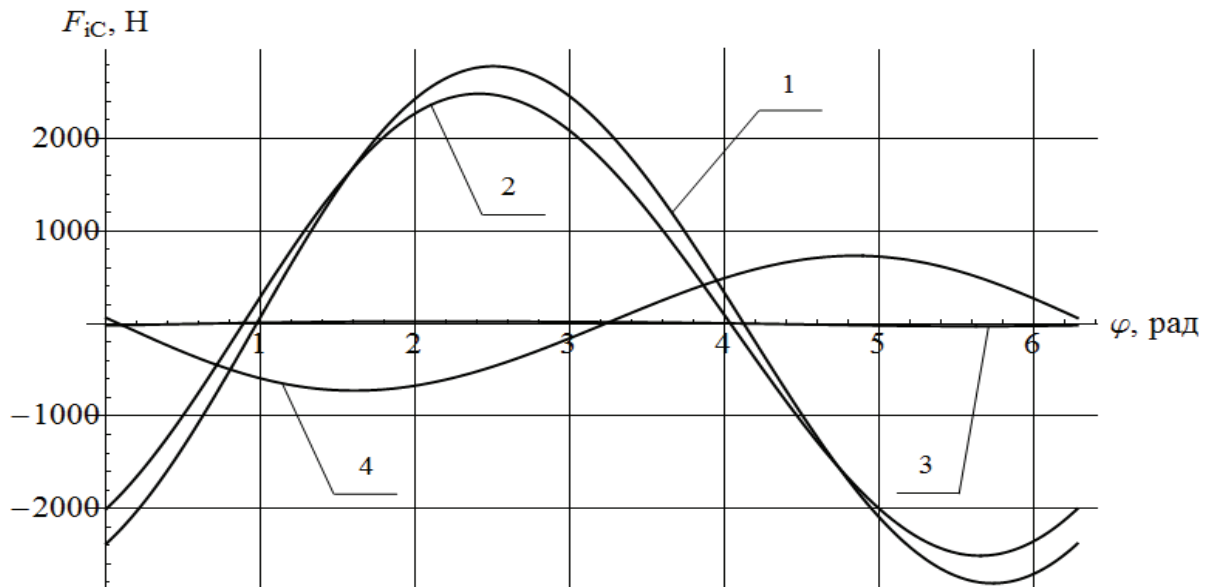


Рис. 2. Графики изменения суммарных значений сил инерции, сведенных к центру масс приводного вала решетчатых станов зерноочистительной машины, при смещении эксцентров на угол $80^\circ - 1, 90^\circ - 2, 160^\circ - 3$ и $180^\circ - 4$

Fig. 2. Graphic arts of change of total values of forces of inertia, the masses of drive billow of sieve figures of grain cleaner taken to the center, at displacement of eccentric persons on corner $80^\circ - 1, 90^\circ - 2, 160^\circ - 3$ and $180^\circ - 4$

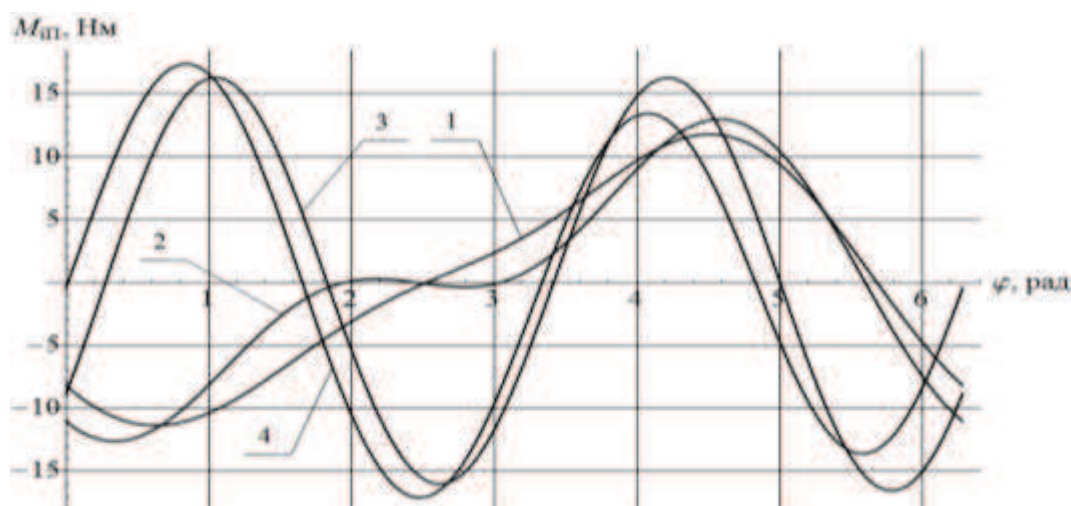


Рис. 3. Графики изменения крутящего момента от сил инерции и потенциальных сил, сведенного к оси поворота приводного вала решетных станов зерноочистительной машины, при смещении эксцентриков на угол 80° – 1, 90° – 2, 160° – 3 и 180° – 4

Fig. 3. Charts of change of twisting moment from forces of inertia and potential forces, turn of drive billow of sieve figures of grain cleaner taken to the axis, at displacement of eccentric persons on a corner 80° - 1, 90° - 2, 160° - 3 and 180° - 4

Таблица 1. Значения критериев динамического уравновешивания приводного механизма решетных станов зерноочистительной машины в зависимости от угла смещения эксцентриков

Table 1. Values of criteria of the dynamic balancing of drive mechanism of sieve figures of grain cleaner depending on the corner of displacement of eccentric persons

параметр $\Delta\varphi, \text{град}$	$F_{iC \max},$ Н	$M_{iП \max},$ Нм	$\bar{F}_{iC},$ Н	$\bar{M}_{iП},$ Нм	$K_{Fi},$	$K_{Mip},$
0	4250,09	27,2752	4254,24	22,0911	16,3475	1,91964
10	4168,55	25,8281	4174,67	21,0718	23,1458	1,83106
20	4055,52	23,9011	4063,35	19,7068	29,3168	1,71245
30	3911,87	21,56	3921,13	18,0717	34,6136	1,57036
40	3738,72	18,8945	3749,08	16,2703	38,8879	1,41383
50	3537,37	16,04	3548,5	14,4422	42,0247	1,25498
60	3309,36	13,2794	3320,91	12,7701	43,9407	1,10968
70	3056,41	11,5227	3068,03	11,4781	44,5842	0,997406
80	2780,42	11,7835	2791,79	10,7861	43,9355	0,93727
90	2483,48	12,9785	2494,28	10,8018	42,0068	0,938639
100	2167,81	14,3238	2177,76	11,4346	38,8431	0,993626
110	1835,79	15,5378	1844,63	12,4497	34,5409	1,08183
120	1489,93	16,4836	1497,45	13,594	29,168	1,18127
130	1132,82	17,077	1138,84	14,6662	22,8898	1,27444
140	767,158	17,2615	771,57	15,5255	15,8779	1,34911
150	395,716	17,0008	398,48	16,0813	8,33125	1,39741
160	21,9425	16,276	25,8687	16,2825	0,470883	1,41489
170	356,383	17,0801	354,674	16,1115	7,46434	1,40004
180	732,528	17,3761	728,255	15,5825	15,2272	1,35407

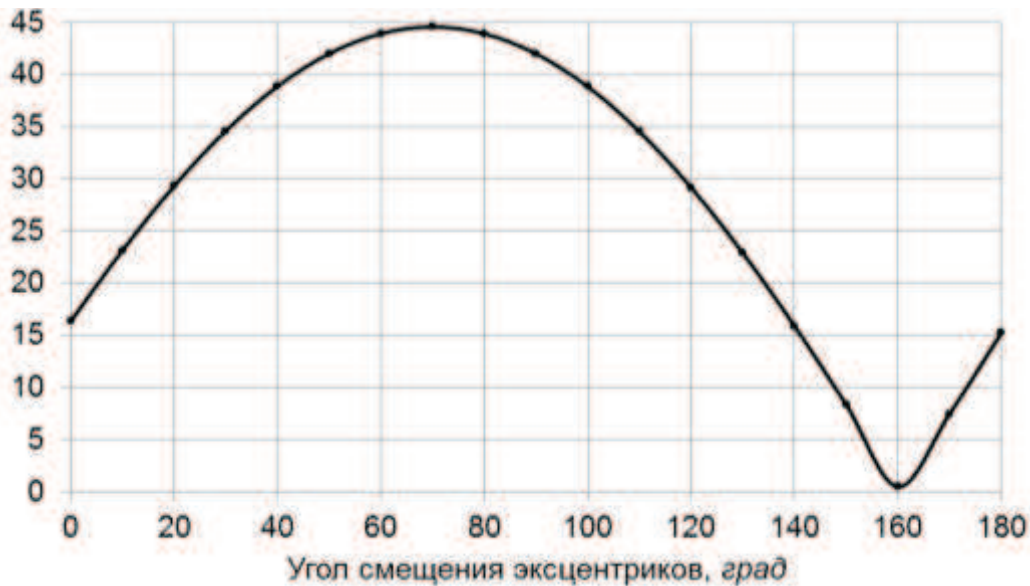


Рис. 4. Графики изменения безразмерного коэффициента K_{Fi} в зависимости от угла смещения эксцентриков

Fig. 4. Charts of change of dimensionless coefficient K_{Fi} depending on a corner displacement of eccentric persons

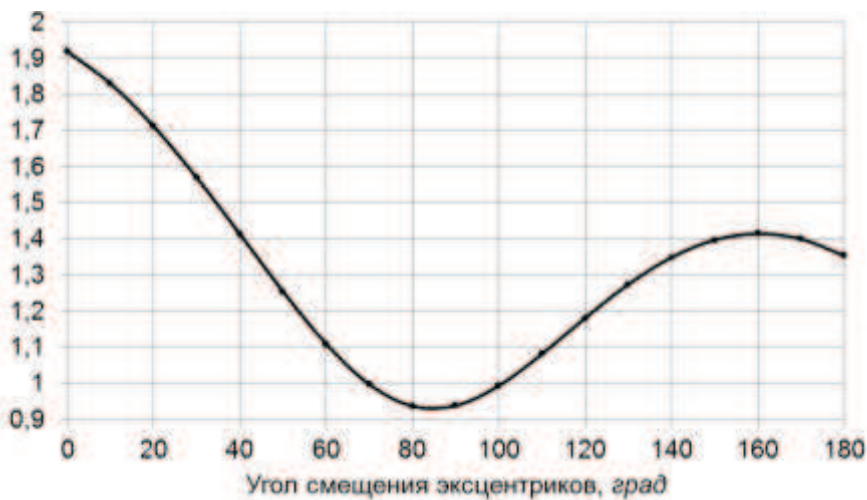


Рис. 5. Графики изменения безразмерного коэффициента K_{Mip} в зависимости от угла смещения эксцентриков

Fig. 5. Charts of change of dimensionless coefficient K_{Mip} depending on a corner displacement of eccentric persons

ВЫВОДЫ

Анализ полученных результатов показывает, что величина угла смещения эксцентриков $\Delta\varphi$ существенно влияет на динамическую неуравновешенность моментов и сил инерции. Так, например наименьшие среднеквадратические значения сил инерции \bar{F}_{ic} ,

которые сведены к центру масс приводного вала решетных станков, и передаются на его подшипниковые опоры, имеют место при смещении эксцентриков на угол $\Delta\varphi = 160^\circ$, а наибольшие – при $\Delta\varphi = 0^\circ$. В месте с тем, наименьшие среднеквадратические значения крутящего момента, приведенного к оси поворота приводного вала решетных станков от

действия силы инерции и потенциальных сил $\overline{M}_{\text{дл}}$ наблюдаются при смещении эксцентриков на углы в границах $\Delta\varphi = 80\dots 90^\circ$, а наибольшие – при $\Delta\varphi = 0^\circ$. Кроме того, в приводных механизмах решетных станов существующих зерноочистительных машин угол смещения эксцентриков составляет $\Delta\varphi = 180^\circ$. Для этого угла смещения коэффициент K_{Fi} составляет 15,2272, а коэффициент $K_{Mip} = 1,35407$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gladkov N.G. 1961: Zernoochistitelnyye mashiny. M.: – 348.
2. Kozhukhovskiy I.E. 1974: Zernoochistitelnyye mashiny. Konstruktsiya, raschet i proyektirovaniye. Izd. 2-e pererab. M.: Mashinostroyeniye. – 248.
3. Loveykin V.S. 1987: Opredeleniye optimalnykh rezhimov dvizheniya mekhanizmov gruzopodyemnykh mashin // Podyemno-transportnoye oborudovaniye. – Kiyev: Tekhnika. – Vyp. 18. – 31–35.
4. Sokolov A.Ya. 1957: Mashiny dlya ochistki i transporta zerna. – M. – 376.
5. Patent 2011: Patent na KM 62443. Ukraina, MPK A01F 12/44, V07B 1/28. Mashina pervinnoi ochistki zerna / Loveykin V.S., Kulik V.P., Kulik O.A.; zayavnik ta vlasnik NUBiP Ukraini. – № u 2011 02 066; zayavl. 21.02.2011; opubl. 25.08.2011, Byul. № 16.
6. Loveykin V.S. 2008: Kinematchniy analiz ta optimizatsiya sparenikh krivoshipno-povzunnikh mekhanizmov, yaki realizuyut rekuperatsiyu yenerгии zvorotno-postupalnogo rukhu robochikh organiv / V.S. Loveykin, Yu.V. Chovnyuk, V.P. Kulik // Visnik KhNTUSG im. Petra Vasilenka “Mekhanizatsiya s. g. virobnitstva”. – Vip. 75. – T. 1. – 127–134.
7. Loveykin V.S. 2008: Modelyuvannya rezhimiv rukhu mashin i mekhanizmov za nayavnosti neliniynikh kinetichnikh zv'yazkiv / V.S. Loveykin, Yu.V. Chovnyuk, V. P. Kulik // Visnik LNTU: Agroinzhenerni doslidzhennya. – №12(2). – 218–224.
8. Loveykin V.S. 2009: Dinamichniy analiz robochikh organiv zernoochisnikh mashin z rekuperativnim privodom / V.S. Loveykin, V.P. Kulik // Visnik KhNTUSG im. Petra Vasilenka. – Vip. 76. – 316–323.
9. Loveykin V.S. 2009: Udoskonalennya metodiv kinematchnogo analizu ta dinamichnoi optimizatsii sparenikh krivoshipno-povzunnikh mekhanizmov, yaki realizuyut rekuperatsiyu yenerгии zvorotno-postupalnogo rukhu robochikh organiv zernoochisnikh mashin / V.S. Loveykin, Yu.V. Chovnyuk, V.P. Kulik // Naukoviy visnik Luganskogo natsionalnogo agrarnogo universitetu. Tekhnichni nauki. – № 2. – 147–157.
10. Loveykin V.S. 2010: Modelyuvannya dinamiki rukhu robochikh organiv zernoochisnikh mashin z rekuperativnim privodom / V.S. Loveykin, V.P. Kulik // Naukoviy visnik NUBiP Ukraini. Seriya “Tekhnika i yenergetika v APK”. – Vip. 144, Ch. 3. – 62–71.
11. Loveykin V.S. 2009: Modelyuvannya dinamiki rukhu robochikh organiv zernoochisnikh mashin z rekuperativnim privodom / V.S. Loveykin, V.P. Kulik // Zb. tez dopovidey konferentsii NPP NUBiP Ukraini. Sektsii NNTs «Konstruyuvannya i nadiynist mashin». – K. – 16–18.
12. Loveykin V.S. 2010: Vpliv kuta zmishchennya krivoshipiv na silovi kharakteristiki zernoochisnoi mashini / V.S. Loveykin, V.P. Kulik // Visnik KhNTUSG im. Petra Vasilenka “Mekhanizatsiya s.-g. virobnitstva”. – Vip. 93. – T. 1. – 269–276.
13. Loveykin V.S. 2010: Vznachennya optimalnikh znachen kutiv zmishchennya krivoshipiv privodnogo mekhanizmu ta nakhilu reshitnikh staniv / V.S. Loveykin, V.P. Kulik // Naukoviy visnik NUBiP Ukraini. Seriya “Tekhnika i yenergetika v APK”. – Vip. 144, Ch. 1. – 179–188.
14. Loveykin V.S. 2012: Analiz nerivnomirnosti rukhu privodnogo mekhanizmu robochikh organiv zernoochisnikh mashin / V.S. Loveykin, V.P. Kulik // Naukoviy visnik NUBiP Ukraini. Seriya «Tekhnika i yenergetika v APK». – Vip. 170, Ch. 1. – 254–261.
15. Kulik V.P. 2010: Vznachennya optimalnikh znachen kutiv zmishchennya krivoshipiv privodnogo mekhanizmu ta nakhilu reshitnikh staniv / V.P. Kulik // Zb. tez dopovidey konferentsii NPP ta aspirantiv tekhnichnogo NNI NUBiP Ukraini. Sektsii NNTs konstruyuvannya i nadiynosti mashin dlya silskogo, lisovogo i vodnogo gospodarstva ta kharchovikh

tekhnologiy. – K. – 8–10.

16. Loveykin V.S. 2012: Analiz nerivnomirnosti rukhu zernoochisnoi mashini z rekuperativnim privodom / V.S. Loveykin, V.P. Kulik // Tezi dopovidey VI mizhnarodnoi naukovoï konferentsii “Ekobiotekhnologii ta biopaliva v APK – ENERGIA 2012”. – Kiev-Lyublin-Simferopol-Lviv. – 52–53.

17. Loveykin V.S. 2009: Vpliv radiusa kri-voshipiv na yenergetichni pokazniki roboti zernoochisnoi mashini / V.S. Loveykin, V.P. Kulik // Mizhvuzivskiy zbirnik “Naukovi notatki”. – Vip. 26. – 172–176.

18. Loveykin V.S. 2010: Vpliv dovzhini shatuna na yenergetichni pokazniki roboti zernoochisnoi mashini / V.S. Loveykin, V.P. Kulik // Naukoviy visnik NUBiP Ukraini. Seriya “Tekhnika i yenergetika v APK”. – K. – Vip. 144, Ch. 2. – 33–39.

19. Boltyanska N.I. 2011: Obruntuvannya konstruktivno-tekhnologichnikh parametriv separuyuchikh poverkhon zhalyuziyukh reshet zernozbiralnikh kombayniv // Motrol. – Tom 13B, Lublin. – 11–116.

20. Loveykin V.S. 2012: Analiz ta optimizatsiya rezhimiv rukhu zernovoi chastinki vpodovzh vibruyuchogo pokhilogo resheta / V.S. Loveykin, Yu.V. Chovnyuk, V.P. Kulik // Naukoviy visnik NUBiP Ukraini. Seriya «Tekhnika i yenergetika v APK». – Vip. 170, Ch. 1. – 277–286.

21. Loveykin V.S. 2012: Optimizatsiya rezhimov kolebaniy zernovykh smesey pri nalichii sukhogo treniya / V.S. Loveykin, V.P. Kulik // Motrol. Vol. 14, No 3, Lublin. – 104–109.

CRITERIA DYNAMIC BALANCING DRIVE MECHANISM SIEVE GRAIN CLEANERS

Summary. Shows research the dynamic imbalance drivers sieve grain cleaners, depending on angle of offset eccentric drive mechanism sieve.

Key words: drive mechanism, drive shaft, force of inertia, sieve, dynamic imbalance, eccentric.

ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ МЕХАНИЗМОВ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН С ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Вячеслав Ловейкин, Юрий Ромасевич

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15

Vyacheslav Loveykin, Yuriy Romasevich

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Решена вариационная задача определения оптимального режима движения механизма грузоподъемной машины. Движение механизма описывается дифференциальным уравнением третьего порядка. Установлены условия применения закона движения. Результаты проиллюстрированы графическими зависимостями.

Ключевые слова: грузоподъемная машина, оптимизация движения, уравнение Эйлера-Пуассона, функционал, прямой вариационный метод.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Для большого количества механизмов грузоподъемных машин важным показателем их работы является уровень динамической мощности привода. Уменьшение уровня динамической мощности привода позволяет эксплуатировать механизмы грузоподъемных машин с высоким КПД (уменьшаются вредные затраты энергии на нагрев привода и изнашивание элементов механизма [1]). Кроме того, уменьшение динамической мощности привода дает возможность обосновано подходить к расчетам мощности привода.

Достичь уменьшения динамической мощности можно путем выбора того или другого режима работы механизма. Под режимом работы понимается изменение кинематических и динамических характеристик механизма во времени (рассматривается программное управление). Из всего многообразия режимов работы механизмов грузоподъемных машин необходимо избрать один, по которому показатель динамической мощности привода будет наиболее низким. Такой режим работы называется оптимальным. В данном исследовании отыскивается именно

оптимальный режим работы механизма грузоподъемной машины по критерию среднеквадратичного значения динамической мощности привода механизма.

Оптимизация режимов движения механизмов грузоподъемных машин может выполняться одним из методов: вариационного исчисления [2], принципа максимума Л.С. Понтрягина [3], динамического программирования [4], моментов [5] и разных приближенных методов [6-11]. Использование указанных методов для линейных задач дает возможность довольно легко получить функцию оптимального управления в виде программного управления [12-15] или управления в виде обратной связи [16-18]. Что касается нелинейных задач оптимизации, к которым принадлежит задача минимизации динамической мощности привода, то их решение не всегда можно найти в аналитическом виде и потому часто используют приближенные методы.

Задача минимизации динамической мощности решена в работе [19] в неявном виде для всего цикла перемещения механизма. Это накладывает ограничения на практическую реализацию полученного результата. Эта же задача была решена прямым вариационным методом в работе [8]. Кроме того, в работе [19] решение позволяет устранить „жесткие” и „мягкие” удары в приводе механизма. Однако, в указанных работах задача решена без учета динамики привода.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью приведенного исследования является решение задачи оптимизации режима разгона механизма грузоподъемной машины с электроприводом постоянного тока в вариационной постановке. Для достижения по-

ставленной цели ставятся такие задачи: 1) поставить вариационную задачу и проанализировать ее; 2) решить задачу прямым вариационным методом; 3) провести анализ приближенного решения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Примем следующую математическую модель движения механизма грузоподъемной машины:

$$\lim_{\substack{n \rightarrow 0,5 \\ k \rightarrow 0,5}} \tilde{I} = 1,3919. \quad (1)$$

где: x – обобщенная координата механизма (в данном исследовании использованы линейные координаты); m – приведенная к поступательному движению масса механизма и его привода; F – приведенная к поступательному движению сила приводного механизма; $F_{дин}$ – динамическая составляющая приводного усилия; W – сила сопротивления перемещению механизма, в том числе технологического характера.

Уравнение (1) в первом приближении описывает движение механизмов грузоподъемных машин: перемещение пролетного крана, изменения вылета и поворота башенного крана, подъема груза и т.п. (считаем, что масса груза присоединена к массе основного механизма) [20].

Уравнение движения электропривода постоянного тока с независимым возбуждением описывается следующим уравнением [21]:

$$U = \dot{x}A_1 + FA_2 + \dot{F}A_3, \quad (2)$$

где: U – напряжение на якорной обмотке двигателя; c – коэффициент, который определяется конструкцией двигателя

($c = \frac{\partial N}{2\pi a}$); p – число пар полюсов двигателя; N – число активных проводников обмотки якоря; a – число параллельных веток обмотки якоря; Φ – магнитный поток двигателя (в данной задаче принимаем, что магнитный поток является постоянной величиной); L – индуктивность обмотки якоря двигателя; A_1

– коэффициент ($A_1 = \frac{c\Phi i}{r}$); r – радиус привода, например, радиус приводного колеса грузоподъемной машины; i – передаточное число привода; A_2 – коэффициент ($A_2 = \frac{R_y r}{i\eta c\Phi}$); R_y – сопротивление обмотки якоря двигателя; η – КПД привода; A_3 – коэффициент ($A_3 = \frac{Lr}{i\eta c\Phi}$).

Запишем обобщенную математическую модель движения механизма грузоподъемной машины с учетом уравнений (1) и (2):

$$U = A_0 + \dot{x}A_1 + \ddot{x}\tilde{A}_2 + \ddot{x}\tilde{A}_3, \quad (3)$$

где: A_0 – коэффициент ($A_0 = A_2W$); \tilde{A}_2 – коэффициент ($\tilde{A}_2 = A_2m$); \tilde{A}_3 – коэффициент ($\tilde{A}_3 = A_3m$).

Оптимизацию режима разгона механизма с электроприводом постоянного тока выполним по критерию минимума интегрального функционала:

$$I = \frac{1}{T} \int_0^T P^2 dt = \frac{1}{T} \int_0^T (UI)^2 dt = \frac{1}{T} \int_0^T \left(\frac{(A_0 + \dot{x}A_1 + \ddot{x}\tilde{A}_2 + \ddot{x}\tilde{A}_3)^2}{(A_{4W} + \ddot{x}\tilde{A}_4)} \right) dt \rightarrow \min, \quad (4)$$

где: P – моментальная мощность электропривода механизма; I – сила тока в роторной обмотке двигателя; T – продолжительность разгона механической системы; \tilde{A}_4 – коэффициент ($\tilde{A}_4 = A_4m$); A_{4W} – коэффициент ($A_{4W} = A_4W$).

Условием минимума критерия (4) есть уравнение Эйлера-Пуассона [2], которое представляется в виде нелинейного дифференциального уравнения четвертого порядка (мы не приводим это уравнение, так как оно имеет значительный объем). Используем подход к решению вариационной задачи (3), (4), который описан в работе [8]. Для этого найдем опорную функцию, которая отвечает

физическим краевым условиям исходной задачи. Эта функция будет решением краевой задачи:

$$\begin{cases} x = 0; \\ x(0) = \dot{x}(0) = \ddot{x}(0) = 0; \\ x(T) = s; \dot{x}(0) = v; \ddot{x}(0) = 0, \end{cases} \quad (5)$$

где: s – перемещение механизма в конце переходного режима; v – установившаяся скорость движения механизма. Функция-решение краевой задачи (5) представляется в следующем виде:

$$x = \frac{t^3}{T^5} (s(6t^2 - 15tT + 10T^2) - (3t - 4T)(t - T)Tv). \quad (6)$$

Находя высшие производные функции (6) по времени и подставляя полученные результаты в функционал (4), можем найти его выражение $I=I(s)$. Для минимизации функционала (4) необходимо решить следующее уравнение:

$$\frac{\partial I(s)}{\partial s} = 0. \quad (7)$$

Поскольку в развернутом виде уравнение (7) представляется кубическим алгебраическим

уравнением, то необходимо из трех корней выбрать один – действительный. Найдя действительный корень уравнения (7) и подставив его в уравнение (6), найдем приближенное решение вариационной задачи.

Проиллюстрируем решение графиками, которые построены при следующих параметрах динамической системы: $m=2500$ кг; $\eta=0,8$; $r=0,3$ м; $i=9,7$; $R_{\bar{a}}=0,54$ Ом; $\Phi=9,2 \cdot 10^{-3}$ Вб; $v=2$ м/с; $T=3$ с.

Анализ приведенных на рис. 1 графиков дает возможность утверждать, что движение механизма происходит плавно, без резких рывков и ударов. Что касается ненулевых значений начального напряжения и мощности электродвигателя, то их можно объяснить наличием силы сопротивления движению механизма W . Действительно, начальное значение мощности привода равно:

$$P(0) = A_0 A_{4W} + \frac{12 \tilde{A}_3 A_{4W} (5sT^2 - 2T^3 v)}{T^5}. \quad (8)$$

Начальное значение напряжения питания двигателя находятся так:

$$U(0) = A_0 + \frac{12 \tilde{A}_3 (5sT^2 - 2T^3 v)}{T^5}. \quad (9)$$

Таким образом, оптимальный закон движения (6) справедлив для случая предварительного нагружения приводного механизма силой W .

Синтезированный оптимальный закон движения механизма грузоподъемной машины на практике реализуется с помощью мехатронной системы управления.

ВЫВОДЫ

1) решена оптимизационная задача уменьшения динамической составляющей мощности приводного механизма, которая позволяет снизить мощность и стоимость двигателя, а также улучшить его массогабаритные показатели;

2) полученные результаты проанализированы с помощью графического представления оптимального закона движения механизма;

3) установлено, что полученные результаты необходимо применять в случае предварительного нагружения приводного механизма силой сопротивления перемещению механизма;

4) полученные результаты могут быть использованы при разработке алгоритмов работы систем управления приводами механизмов грузоподъемных машин.

ЛИТЕРАТУРА

1. Grechushnikova G.A. 1975: Issledovaniye nadezhnosti kranovogo elektroprivoda i aparatov sistemy upravleniya: avtoref. diss. na soisk. step. kand. tekhn. nauk: spets. 05.13.07 „Avtomaticeskoye upravleniye tekhnologicheskimi protsessami” / G.A. Grechushnikova. – М. – 21.

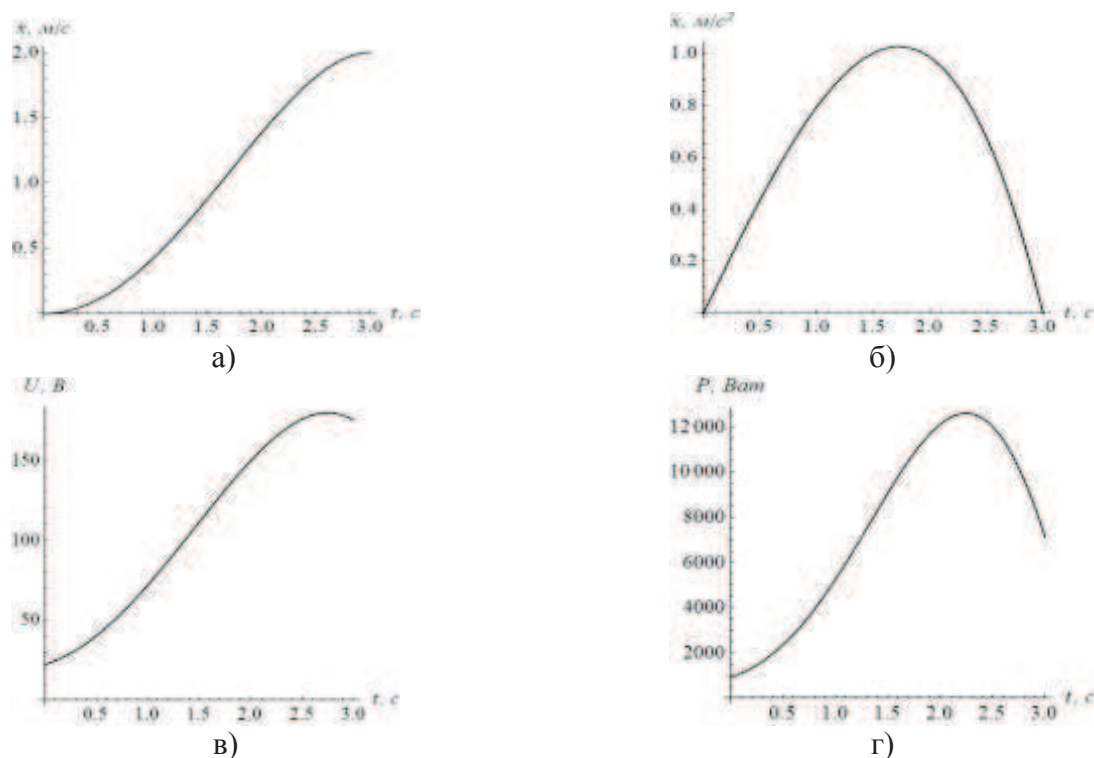


Рис. 1. Графики изменения характеристик механизма грузоподъемной машины при его движении по оптимальному закону (6): а) скорость механизма; б) ускорение механизма; в) напряжение, подводимое к якорной обмотке двигателя; г) мощность электродвигателя механизма

Fig. 1. Charts of change of descriptions of mechanism of machine for raising of loads at his motion on an optimal law (6): а) speed of mechanism; б) acceleration of mechanism; в) tension, tricked into to the anchor puttee of engine; г) power of electric motor of mechanism

2. Petrov Yu.P. 1977: Variatsionnyye metody teorii optimalnogo upravleniya / Yu.P. Petrov. – L.: Energiya. – 280.
3. Pontryagin L.S. 1961: Matematicheskaya teoriya optimalnykh protsessov / L.S. Pontryagin, V.G. Boltnyanskiy, R.V. Gamkrelidze, Ye.F. Mishchenko. – M.: Fizmatgiz. – 392.
4. Bellman R. 1960: Dinamicheskoye programmirovaniye / R. Bellman. – pod. red. Vorobyeva N.N. – M.: Izdatelstvo inostrannoy literatury. – 400.
5. Krasovskiy I.I. 1968: Teoriya upravleniya dvizheniyem (lineynyye sistemy) / I.I. Krasovskiy – M.: Nauka. - 476.
5. Moiseyev N.N. 1971: Chislennyye metody v teorii optimalnykh sistem / N.N. Moiseyev. – M.: Nauka. – 424.
6. Butov V.G. 2008: Issledovaniye variatsionnykh zadach pryamimi metodami / V.G. Butov // Zhurnal vychislitelnoy matematiki i matematicheskoy fiziki. – T. 48. – №3. – 373-386.
7. Seno P.S. 2004: Pryamyye intervalnyye metody resheniya variatsionnykh zadach i zadach optimalnogo upravleniya / P.S. Seno // Dinamicheskkiye sistemy. – Vyp. 18. – 44-50.
8. Loveykin V.S. 2010: Optimizatsiya perekhidnykh rezhimiv rukhu mekhanichnykh sistem pryamim variatsiynim metodom / V.S. Loveykin, Yu.O. Romasevich. – K.; Nizhin: Vidavets PP Lisenko M.M. – 184.
9. Chernousko F.L. 1973: Variatsionnyye zadachi mekhaniki i upravleniya (Chislennyye metody) / F.L. Chernousko, N.V. Banichuk. – M.: Nauka. – 107.
10. Barskiy I.L. 1982: Lokalnaya interpolyatsiya v pryamykh metodakh variatsionnogo ischisleniya / I.L. Barskiy, I.A. Rumyantsev, Yu.A. Flerov. – M.: Vychislitelnyy tsent AN SSSR. – 56.
11. Taranenko V.T. 1986: Pryamoy variatsionnyy metod v krayevykh zadachakh dina-

miki poleta / V.T. Taranenko, V.G. Momodzhi. – М.: Mashinostroyeniye. – 127.

12. Loveykin V.S. 2012: Optimizatsiya rezhima razgona odnomassovoy dinamicheskoy sistemy s integralnymi ogranicheniyami / V.S. Loveykin, Yu.A. Romasevich // Motrol. – Vol 14. – № 3. – 158-163.

13. Loveykin V.S. 2011: Optimizatsiya rezhimiv rukhu kranovikh mekhanizmov. / V.S. Loveykin, Yu.O. Romasevich – К.; Nizhin: Vidavets PP Lisenko M.M. – 307.

14. Loveykin V.S. 2012: Optimizatsiya rezhimu rozgonu odnomasovoi dinamichnoi sistemi iz vrakhuvannyam sil oporu / V.S. Loveykin, Yu.O. Romasevich // Naukoviy visnik Natsionalnogo universitetu bioresursiv i prirodokoristuvannya Ukraini. Seriya „Tekhnika ta yenergetika APK”. – 170. – Chastina 1. – 20-30.

15. Romasevich Yu.O. 2011: Optimizatsiya rezhimu zmini vilotu vantazhu bashtovogo kрана za odinichnimi kinematichnimi kriteriyami / Romasevich Yu.O., Shumilov G.V. // Motrol. – Tom 13 B. – 167-173.

16. Romasevich Yu.A. 2012: Realizatsiya optimalnogo upravleniya dvizheniyem dinamicheskikh sistem s ispolzovaniyem PD- i PID-regulirovaniya / Yu.A. Romasevich // Motrol. – Vol 14. – № 3. – 176-183.

17. Loveykin V.S. 2012: Sintez optimalnogo keruvannya rukhom dinamichnikh sistem za integralno-terminalnim kriteriem / V.S. Loveykin, Yu.O. Romasevich // Zbirnik naukovikh prats. Seriya „Galuzeve mashinobuduvannya, budivnitstvo”. – Vipusk 1 (31). – 67-73.

18. Loveykin V.S., Romasevich Yu.O. 2012: Analiz ta sintez rezhimiv rukhu mekhanizmov vantazhopidyomnikh mashin. / V.S. Loveykin, Yu.O. Romasevich. – К.: TsP „KOMPRINT”. – 298.

19. Khitrik V.E. 1974: Metody dinamicheskoy optimizatsii mekhanizmov mashin-avtomatov / V.E. Khitrik. – L.: Izd-vo Leningr. Un-ta. – 116.

20. Loveykin V.S.1990: Raschety optimalnikh rezhimov dvizheniya mekhanizmov stroitelnykh mashin / V.S. Loveykin. – К.: UMK VO. – 168.

21. Firago B.I. 2004: Teoriya elektroprivoda / B.I. Firago – Minsk.: ZAO „Tekhnoperspektiva”. – 527.

MOVEMENT CONTROL OPTIMIZATION OF LIFTING MACHINES MECHANISM WITH ELECTRIC DRIVE OF DISTRICT CURRENT

Summary. Variational task of optimal regime lifting machines mechanism determination have been solved. Mechanism movement is describable by differential equation of third order. The conditions of law movement using have been ascertained. Results have been illustrated by plots.

Key words: lifting machine, movement optimization, Euler-Puasson equation, functional, district variational method.

ОПТИМИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПОВОРОТА СТРЕЛОВОГО КРАНА

Вячеслав Ловейкин, Вячеслав Мельниченко

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Оборонь, 15

Vyacheslav Loveykin, Vyacheslav Melnichenko

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Применен способ уменьшения колебаний груза на гибком подвесе при работе механизма поворота стрелового крана во время переходных процессов путем оптимизации режимов пуска и торможения приводного механизма по динамическому критерию, представляющего собой среднее значение динамической составляющей мощности привода за время движения.

Ключевые слова: стреловой кран, динамическая модель, математическая модель, интегральный критерий, оптимальный режим, энергия ускорений, пуск, торможение, динамическая составляющая мощности привода.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Гибкий подвес груза существенно влияет на управление стреловым краном во время поворота, при котором намного увеличивается период движения, быстро утомляется крановщик, что нередко создает аварийные ситуации [1]. Угол отклонения гибкого подвеса стрелового крана от вертикали в обычных условиях работы крана не превышает 8° , но известны случаи, когда он достигает 17° [2]. Это явление зависит от многих факторов, но прежде всего от динамических характеристик привода и фазового положения груза относительно точки подвеса перед началом разгона или торможения [3,4]. Как правило, в реальных условиях эксплуатации стреловых кранов необходима высокая точность позиционирования груза, поэтому его раскачивание не должно превышать 50...100 мм [5].

Опытные крановщики успешно гасят колебания груза в заданном месте путем чередования команд привода на торможение и разгон крана при повороте. Однако при ручном управлении не удается свести до мини-

муму потери времени на успокоение груза и точное его позиционирование [6, 7].

Задача синтеза оптимальных режимов управления движением груза на гибком подвесе и реализация их механизмом поворота стрелового крана при помощи автоматических средств есть достаточно актуальной. В общем виде эта задача формируется следующим образом: необходимо получить режим управления движением механизма поворота стрелового крана, при котором груз переместится в заданное положение без колебаний после завершения цикла за заданное время или за минимальное время при соблюдении заданных ограничений на кинематические характеристики движения, силовые нагрузки или энергетические затраты [8, 9, 10].

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проблеме устранения колебаниями груза на гибком подвесе уже несколько десятков лет. Последние исследования, посвященные данной проблеме, основанные на использовании математических теорий оптимальных процессов (принцип максимума, вариационное исчисление). Заметим, что современные способы устранения колебаний груза предлагается реализовывать с помощью определенного управляющего воздействия на механизм поворота во время переходных режимов движения (разгон, торможение).

В работах [11, 12, 13, 14] за управляющий параметр выбрано силовое воздействие на приводной механизм: для устранения колебаний груза необходимо управлять моментом на валу электродвигателя механизма поворота. Управляющее действие имеет релейный характер, что приводит к дополнительным динамическим нагрузкам на кран. Этот подход неприемлем с точки зрения воз-

никновения значительных динамических нагрузок.

Посредством использования теории вариационного исчисления, как это сделано в работе [15], можно обеспечить плавное изменение кинематических характеристик механизма поворота и устранить колебания груза на гибком подвесе.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы заключается в уменьшении колебаний груза на гибком подвесе во время поворота стрелового крана путем оптимизации режима движения приводного механизма по интегральному динамическому критерию.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При оптимизации режимов движения механизма поворота стрелового крана с гибким подвесом груза необходимо выбирать динамическую модель таким образом, чтобы были учтены координаты основного движения и колебаний груза [16]. Поэтому выбрана динамическая модель, схема которой изображена на рис. 1 [17].

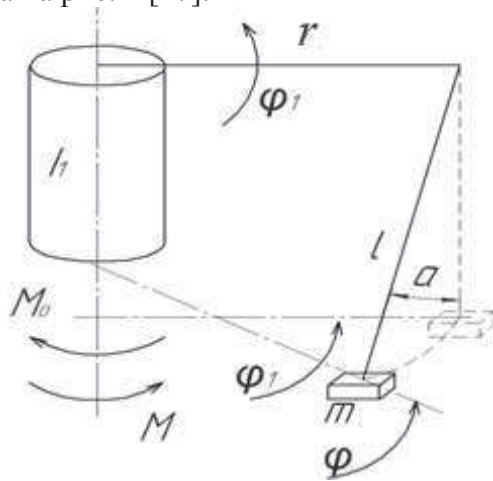


Рис. 1. Расчетная модель системы «колонна-груз»
Fig. 1. Calculation model of system is "column-load"

В этой модели в качестве обобщенных координат выбраны независимые угловые координаты стрелы φ_1 и груза φ .

Принятой динамической модели механизма поворота стрелового крана соответ-

ствуют дифференциальные уравнения движения, которые имеют вид:

$$\begin{cases} I\ddot{\varphi}_1 = M - \frac{mr^2}{l}g(\varphi_1 - \varphi) - M_c; \\ \ddot{\varphi} = \frac{g}{l}(\varphi - \varphi_1), \end{cases} \quad (1)$$

где: I – момент инерции привода, поворотной платформы и стрелы, сведенный к оси поворота крана; M, M_c – соответственно движущий момент приводного механизма и момент сил сопротивления, сведенные к оси поворота крана; m – масса груза; r – длина стрелы от оси поворота крана до точки подвеса груза; l – длина гибкого подвеса груза; g – ускорение свободного падения.

Критерием оптимизации режима движения механизма поворота стрелового крана с гибким подвесом груза выбран интегральный критерий, который представляется в виде интегрального функционала и отображает среднее значение динамической составляющей мощности приводного механизма за время движения [18]:

$$\dot{I} = \int_0^{t_1} V dt \rightarrow \min,$$

где: t – время; t_1 – продолжительность цикла движения механизма поворота стрелового крана; V – «энергия» ускорений [19] механизма поворота стрелового крана с гибким подвесом груза.

Для механизма поворота стрелового крана с гибким подвесом груза функция «энергии» ускорений имеет вид:

$$\dot{I} = \int_0^{t_1} V dt \rightarrow \min, \quad (2)$$

Со второго уравнения системы (1) найдем соотношения между угловыми перемещениями, скоростями и ускорения стрелы и груза:

$$V = \frac{1}{2}I_1\dot{\varphi}_1^2 + \frac{1}{2}mr^2\dot{\varphi}^2. \quad (3)$$

После подстановки последней зависимости системы (4) в выражение функции «энергии» ускорений (3) получим:

$$\varphi_1 = \varphi + \frac{l}{g}\ddot{\varphi}; \quad \dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi} + \frac{l}{g}\ddot{\varphi}; \quad \ddot{\varphi}_1 = \ddot{\varphi} + \frac{l}{g}\ddot{\varphi}. \quad (4)$$

Условием минимума интегрального критерия (2) является уравнение Эйлера Пуассона [20]:

$$V = \frac{1}{2} I_1 \left(\ddot{\varphi} + \frac{l^{IV}}{g} \varphi \right)^2 + \frac{1}{2} m r^2 \dot{\varphi}^2. \quad (5)$$

Подставив выражение (5) «энергии» ускорений в уравнение (6), получим:

$$\frac{\partial V}{\partial \varphi} - \frac{d}{dt} \frac{\partial V}{\partial \dot{\varphi}} + \frac{d^2}{dt^2} \frac{\partial V}{\partial \ddot{\varphi}} - \frac{d^3}{dt^3} \frac{\partial V}{\partial \ddot{\varphi}} + \frac{d^4}{dt^4} \frac{\partial V}{\partial \varphi} = 0. \quad (6)$$

Разделим уравнение (7) на коэффициент возле старшей производной, в результате чего будем иметь:

$$I_1 \frac{l^{VIII}}{g^2} \varphi + 2 I_1 \frac{l^{VI}}{g} \dot{\varphi} + (I_1 + m r^2) \ddot{\varphi} = 0. \quad (7)$$

В уравнение (8) сделаем замену:

$$\varphi + 2 \frac{g^{VI}}{l} \dot{\varphi} + \left(1 + \frac{m r^2}{I_1} \right) \frac{g^2}{l^2} \varphi = 0. \quad (8)$$

где: k – частота собственных колебаний груза на гибком подвесе.

В результате чего будем иметь:

$$k = \sqrt{g/l}, \quad (9)$$

Для процесса пуска граничные условия имеют вид:

$$\varphi + 2k \dot{\varphi} + \left(1 + \frac{m r^2}{I_1} \right) k^4 \varphi = 0. \quad (10)$$

где: ω_y – установившееся скорость поворота стрелы.

$$\begin{cases} t = 0 : \varphi_1 = \varphi = 0, \dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi} = 0; \\ t = t_1 : \varphi_1 = \varphi, \dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi} = \omega_y, \ddot{\varphi}_1 = \ddot{\varphi}, \end{cases} \quad (11)$$

Учитывая зависимости (4), выразим граничные условия координаты φ_1 и ее производных через координату φ и ее производные. В результате чего, будем иметь:

$$\begin{cases} t = 0 : \varphi = 0, \dot{\varphi} = 0, \ddot{\varphi} = 0, \ddot{\varphi} = 0; \\ t = t_1 : \dot{\varphi} = \omega_y, \ddot{\varphi} = 0, \ddot{\varphi} = 0, \varphi = 0. \end{cases} \quad (12)$$

Соответственно для процесса торможения граничные условия имеют вид:

$$\begin{cases} t = 0 : \varphi_1 = \varphi = 0, \dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi} = \omega_y; \\ t = t_1 : \varphi_1 = \varphi, \dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi} = 0, \ddot{\varphi}_1 = \ddot{\varphi}. \end{cases} \quad (13)$$

Аналогично, выразим граничные условия координаты φ_1 и ее производных через ко-

ординату φ и ее производные. В результате чего, будем иметь:

$$\begin{cases} t = 0 : \varphi = 0, \dot{\varphi} = \omega_y, \ddot{\varphi} = 0, \ddot{\varphi} = 0; \\ t = t_1 : \dot{\varphi} = 0, \ddot{\varphi} = 0, \ddot{\varphi} = 0, \varphi = 0. \end{cases} \quad (14)$$

Для решения полученного дифференциального уравнения (10) с учетом граничных условий (10, 14) удобно использовать программу Wolfram Mathematica v.7, которая позволяет искать символьные решения дифференциальных уравнений [21].

В результате решения дифференциального уравнения (10) для граничных условий пуска механизма поворота (10, 14) и его конструктивных, кинематических и динамических параметров: $I = 500000 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $m = 9000 \text{ кг}$; $r = 8 \text{ м}$; $l = 5 \text{ м}$; $g = 9.8 \text{ м/с}^2$; $M_o = 58000 \text{ Н} \cdot \text{м}$; $\omega_y = 0,3 \text{ рад/с}$; $t_1 = 3,25 \text{ с}$ – время пуска, равное периоду собственных колебаний груза на гибком подвесе, построены графики кинематических характеристик пуска и торможения колонны и груза (рис.2). Сплошными линиями изображены кинематические характеристики движения груза. Штриховыми линиями изображены кинематические характеристики движения колонны крана. Проанализируем полученные графики кинематических характеристик. Из графиков угловых скоростей (рис.2, а и 2, в) можно увидеть, что изменение скорости поворота колонны достаточно плавное как в первом, так и во втором случаях, и не превышает $0,3 \text{ рад/с}$. При сравнении ускорений поворота стрелы и груза (рис.2, б и 2, г) очевидно, что ускорение стрелы как при разгоне, так и при торможении изменяются довольно плавно и их максимальные значения не превышают $0,4 \text{ рад/с}^2$.

В обоих случаях ускорения колонны принимают как положительные, так и отрицательные значения (имеет место процесс торможения колонны). С графиков движущего момента (рис.3, а и 3,б) очевидно, что движущий момент изменяется плавно, и есть непрерывным, что в свою очередь упрощает возможное мехатронное управление таким приводом [21].

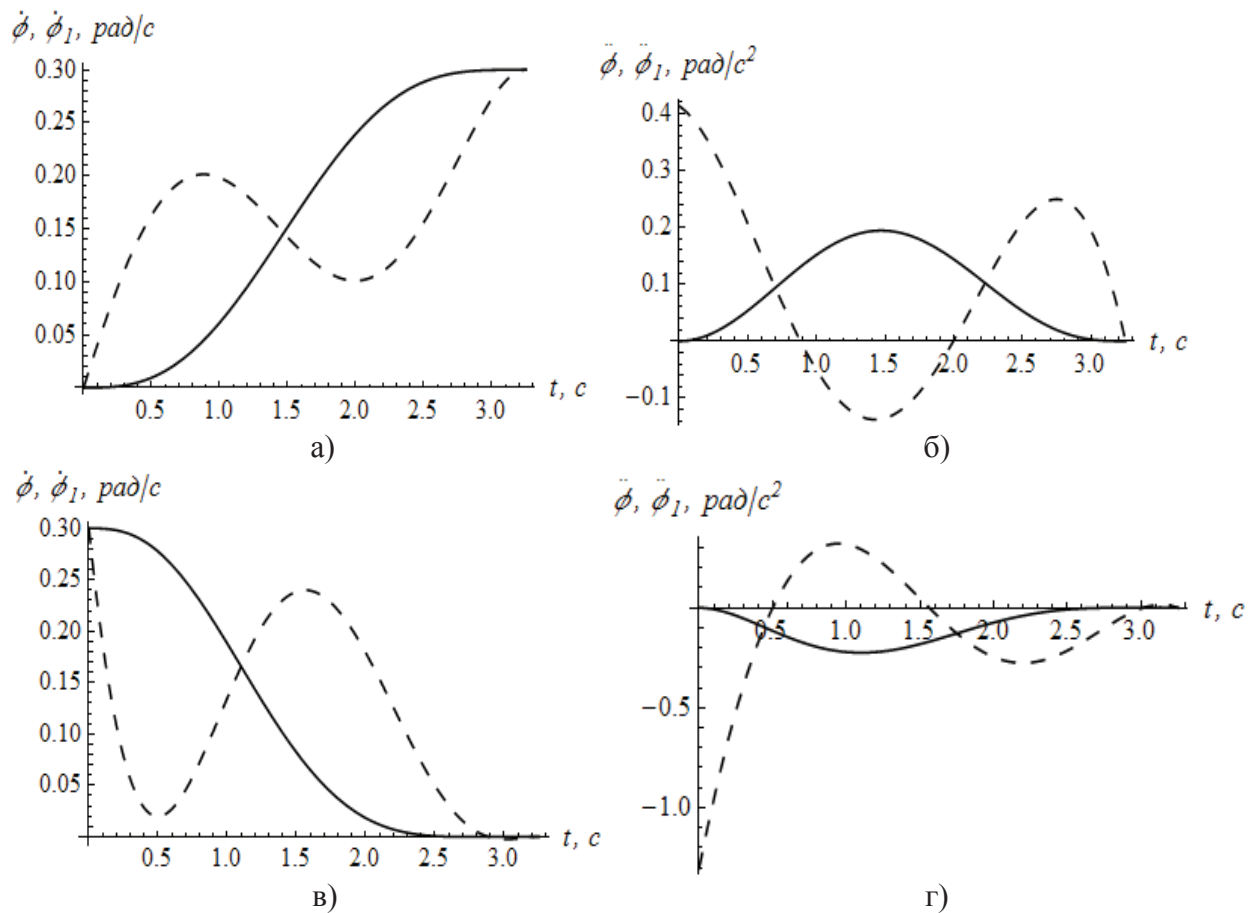


Рис. 2. Графики функций скорости (а) и углового ускорения (б) колонны и груза при разгоне, и соответственно (в) и (г) при торможении
Fig. 2. Charts of functions of speed (а) and angular acceleration (б) of column and load at an acceleration, and accordingly (в) and (г) at braking

Стоит заметить, что в случае торможения (рис.3, б) движущий момент принимает как отрицательные, так и положительные значения, что негативно влияет на работу электропривода.

Таким образом, использование интегрального критерия, который представляется в виде интегрального функционала и отображает среднее значение динамической составляющей мощности приводного механизма за время движения, позволяет значительно уменьшить воздействие динамических нагрузок и энергетических затрат.

Из полученных фазовых портретов оптимальных режимов разгона (рис.4, а) и торможения (рис.4, б) видно, что в первом и втором случаях, до начала установившегося движения и после торможения, колебания груза устраняются.

ВЫВОДЫ

Результаты проведенных исследований позволяют сделать следующие выводы:

- решения задачи устранения колебаний на гибком подвесе путем использования вариационного исчисления оправдано, поскольку найдено управляющее воздействие на механизм поворота, которое удовлетворяет условиям поставленной задачи;
- использование выбранного критерия оптимальности движения механизма поворота позволяет получить законы управления, обеспечивающие устранение колебаний груза и улучшающие переходные режимы его движения;
- для осуществления управления системой «колонна-груз» избрано приводное усилие, на которое накладываются определенные ограничения;

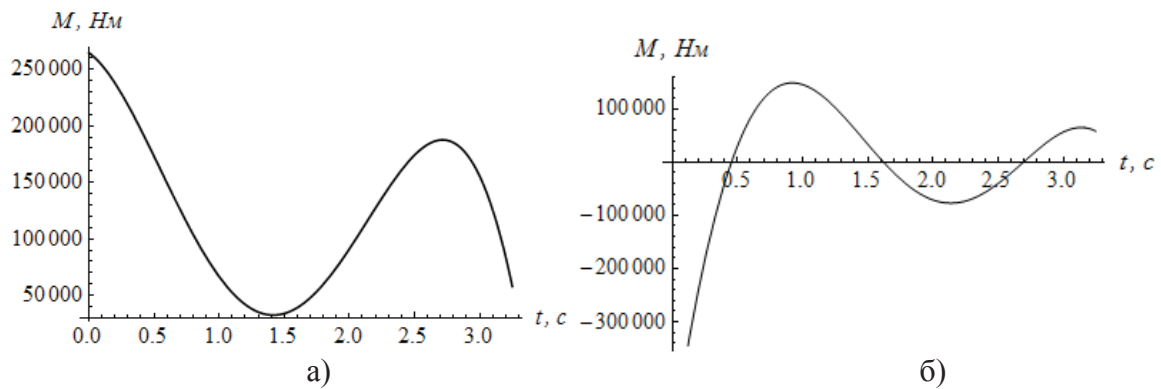


Рис. 3. Графики движущего момента при разгоне (а) и торможении (б)
Fig. 3. Charts of motive moment at an acceleration (a) and braking (б)

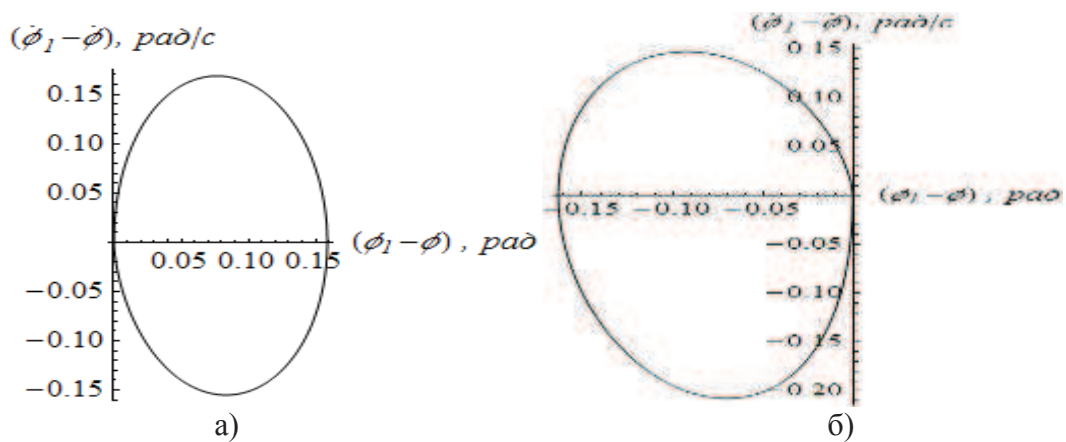


Рис. 4. Фазовый динамический портрет системы «колонна-груз», при ускорении (а) и торможении (б)
Fig. 4. Phase dynamic portrait of the system "column-load", at acceleration (a) and braking (б)

- полученные оптимальные законы реализуются путем использования автоматизированной системы управления механизмом поворота крана.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gaydamaka V.F. 1988: Rabota gruzopodyemnykh mashin pri besstupenchatom tormozhenii / Gaydamaka V.F. – Kh.: Vishcha shkola. – 141.
2. Gerasimyak R.P. 1970: Elektroprivody kranovykh mekhanizmov / Gerasimyak R.P., Parail V.A. – M.: Energiya. – 136.
3. Geryasimyak R.P. 1999: Optimalnoye upravleniye yelektroprivodom mekhanizma povorota / Geryasimyak R.P., Melnikova L.V. // Avtomatika. Avtomatizatsiya. Elektromekhanicheskiye komplekсы i sistemy: nauchn. tekhn. zhurnal. – №1. – 87-94.

4. Grigorov O.V. 2006: Vantazhopidyomni mashini: navch. posibnik / O.V. Grigorov, N.O. Petrenko. – Kh.: NTU „KhPI”. – 304.
5. Grigorov O.V. 1997: Optimalne keruvannya rukhom mekhanizmiv vantazhopidyomnikh mashin / O.V. Grigorov, V.S. Loveykin. – K.: Vipol. – 264.
6. Dyakonov V. P. 2004: Mathematica 4.1/4.2/5.0 v matematicheskikh i nauchno-tekhnicheskikh raschetakh / Dyakonov V. P. – M.: SOLON - Press. –696.
7. Zaretskiy A.A. 1969: Optimizatsiya upravleniya mekhanizmami gruzopodyemnykh kranov v perekhodnykh rezhimakh / A.A. Zaretskiy, N.I. Portnoy // Vestnik mashinostroyeniya. – №8. – 14-18.
8. Komarov M.S. 1953: Dinamika gruzopodyemnykh mashin / Komarov M.S. – M.: Mashinostroyeniye. – 187.

9. Lobov N. A. 1987: Dinamika gruzopodyemnykh kranov / Lobov N. A. – M.: Mashinostroyeniye. – 160.
10. Loveykin V. S., Romasevich Yu.A. 2012: Optimizatsiya rezhima razgona odnomassovoy dinamicheskoy sistemy s integralnymi ogranicheniyami / V.S. Loveykin, Yu.A. Romasevich // Motrol. – Vol 14. – № 3. – 158-163.
11. Loveykin V. S. 1990: Raschety optimalnykh rezhimov dvizheniya mekhanizmov stroitelnykh mashin / Loveykin V. S. – K.: UMK VO. – 168.
12. Loveykin V. S. 2007: Optimizatsiya perekhidnykh rezhimiv rukhu mekhanizma peresuvannya vizka vantazhopidyomnykh mashin / Loveykin V. S., Yaroshenko V.F., Romasevich Yu. O. // Visnik Kharkivskogo natsionalnogo tekhnichnogo universitetu silskogo gospodarstva imeni Petra Vasilenka. – №59, tom 2. – 452-460.
13. Loveykin V.S. 2008: Zmenschennya rozgoiyduvannya vantazhiv na gnuchkomu pidvishuvanni / V.S. Loveykin, V.F. Yaroshenko, Yu.O. Romasevich // Mekhanizatsiya ta yelektifikatsiya silskogo gospodarstva. – № 92. – 524-529.
14. Modelyuvannya 2004: Modelyuvannya dinamiki mekhanizmiv vantazhopidyomnykh mashin / [Loveykin V.S., Chovnyuk Yu.V., Dikteruk M.G., Pastushenko S.I.]. – K.-Mikolaiv: RVV MDAU. – 286.
15. Naydenko Ye.V. 2007: Upravleniye elektroprivodom mekhanizmov gorizontalnogo peremeshcheniya s podveshennym gruzom / Naydenko Ye.V. // Yelektromashbud. Ta yelektroobldan. – Vip.69. – 17-22.
16. Romasevich Yu.O. 2011: Optimizatsiya rezhimu zmini vilotu vantazhu bashtovogo krana za odinichnimi kinematichnimi kriteriyami / Romasevich Yu.O., Shumilov G.V. // Motrol. – Tom 13 B. – 167-173.
17. Rudakov V.V. 1987: Asinkhronnyye elektroprivody s vektornym upravleniyem / Rudakov V.V., Stolyarov I.M., Dartau V.A. – L.: Energoatomizdat. – 136.
18. Sakharov E.O. 1970: Nekotoryye voprosy dempfirovaniya kolebaniy gruzha na gibkom podvese / E.O. Sakharov // Issledvaniye dinamiki gruzopodyemnykh kranov. – №5(100). – 30-39.
19. Sirotskiy V.F. 1953: Kratkiye itogi izucheniya raboty peredovikh kranovshchikov portalnykh kranov / V.F. Sirotskiy // Morskoy i rechnoy flot. – №8. – 4-7.
20. Smekhov A. A. 1975: Optimalnoye upravleniye podyemno-transportnymi mashinami / Smekhov A. A., Yerofeyev N. I. – M.: Mashinostroyeniye. – 239.
21. Elsgolts L. E. 1969: Differentsialnyye uravneniya i variatsionnoye ischisleniye / Elsgolts L. E. – M.: Nauka. – 424.

OPTIMIZING THE DYNAMIC MODES OF SLEWING JIB CRANE

Summary. The method of cargo oscillation reduction, during the lifting machines operation, has been considered in the article. The start-up mode of the crane swinging mechanism optimization has been carried out by means of variational calculation.

The criterion which is the average value of the dynamic component of the drive power of the move. has been used. And this criterion has been subject to minimization. The torque moment of the driving mechanism, acting towards the crane swinging mechanism, has been selected as a control parameter.

Key words: jib crane, dynamic model, mathematical model, integral criterion, optimal mode, energy of acceleration, starting, braking, dynamic component of drive power

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОЙ МАШИНЫ ПО ОПТИМАЛЬНОМУ ЗАКОНУ

Юрий Ромасевич

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15

Yuriy Romasevich

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Выполнено моделирование движения мостового крана. Оптимальное приводное усилие крана реализовано способом частотного регулирования электродвигателя. Проведена оценка эффективности оптимального управления по энергетическим, электрическим, динамическим и кинематическим показателям. Установлены рациональные настройки привода для качественной реализации оптимального управления.

Ключевые слова: мостовой кран, оптимальное управление, частотно-управляемый электропривод, показатели эффективности.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Большинство мостовых кранов, которые эксплуатируются в данное время, оборудованы устаревшими системами управления, в которых используется электро-релейное оборудование. Изменение скорости вращения электродвигателей, как правило, происходит за счет регулирования сопротивления в роторной цепи двигателя. Этот способ не энергоэффективен, поскольку значительная часть энергии расходуется на нагрев сопротивлений, которые подключаются к роторной обмотке двигателя [1].

Последнее время в кранах начали использовать частотные преобразователи, которые позволяют экономить значительную часть энергии. Кроме того, они позволяют управлять разными параметрами движения крана (скоростью, положением, приводным усилием) [2].

Одной из проблем, которые снижают производительность работы мостовых кранов есть раскачивание груза на гибком подвесе [3]. Исследованию этой проблемы по-

священы многие работы [3-16]. В указанных работах использованы различные методы, которые позволяют найти законы движения грузоподъемного крана, при которых колебания груза устраняются. Как правило, устранение колебаний происходит на протяжении переходных режимов движения крана. Вид оптимального управления движением крана может быть программным [17] или в виде обратной связи [18], что предпочтительнее для кранов, которые работают в аргіогі неизвестных внешних воздействиях.

Что касается практической реализации оптимального управления движением крана, то тут предлагаются различные способы, как правило, с помощью регулирования параметров электропривода. Однако, лишь немногие из них указанных выше работ [5, 9], связаны с частотной реализацией оптимального управления.

Прежде чем использовать тот или иной закон движения на практике необходимо провести моделирование работы крана для того чтобы установить качество реализации оптимального закона движения крана и указать пути ее повышения.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель приведенной работы – исследовать оптимальный закон движения механизма перемещения грузоподъемного крана, который оборудован частотно-управляемым асинхронным приводом.

Для достижения поставленной цели ставятся такие задачи: 1) провести моделирование движения механизма перемещения крана при частотном управлении с реализацией оптимального закона движения; 2) проанализировать полученные результаты и оценить

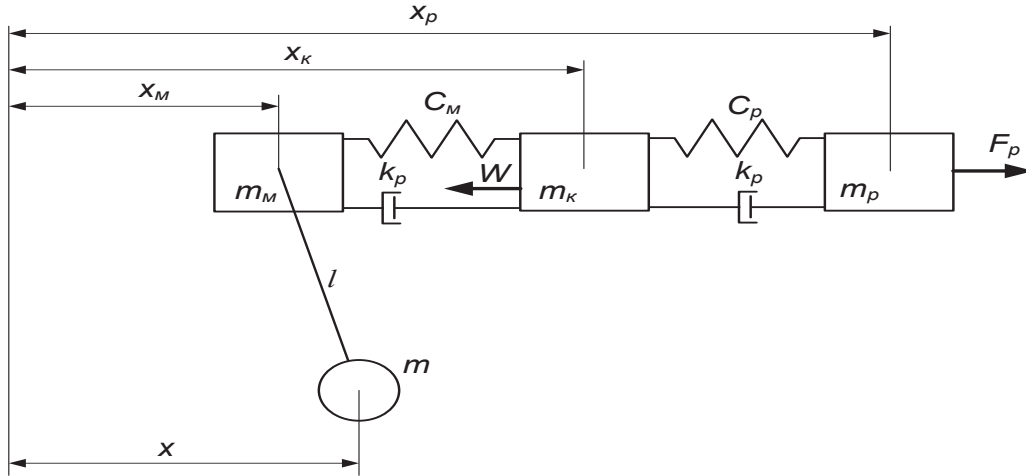


Рис. 1. Четыремассовая динамическая модель движения мостового крана с грузом на гибком подвесе

Fig. 1. Четыремассовая dynamic model of motion of travelling crane with load on flexible suspension

эффективность практического использования оптимального закона движения крана; 3) на основе проведенного анализа указать рациональные настройки частотного привода для реализации оптимального управления.

Для проведения исследования используем динамическую модель движения мостового крана, которая показана на рис. 1. Динамика движения крана с учетом приводного усилия от асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором описывается такой системой дифференциальных уравнений:

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

$$\left\{ \begin{aligned}
 \frac{di_{1\alpha}}{dt} &= \frac{1}{\delta L_1} (u_{1\alpha} - i_{1\alpha} R_1 + k_r e_{2\alpha}); \\
 \frac{di_{1\beta}}{dt} &= \frac{1}{\delta L_1} (u_{1\beta} - i_{1\beta} R_1 - k_r e_{2\beta}); \\
 \frac{di_{2\alpha}}{dt} &= -\frac{1}{\delta L_2} ((u_{1\alpha} - i_{1\alpha} R_1) k_s + e_{2\alpha}); \\
 \frac{di_{2\beta}}{dt} &= -\frac{1}{\delta L_2} ((u_{1\beta} - i_{1\beta} R_1) k_s - e_{2\beta}); \\
 3pL_{12} \frac{(i_{1\beta} i_{2\alpha} - i_{1\alpha} i_{2\beta})}{r_{кол}} \frac{u \eta_{nep}}{r_{кол}} &= m_p \ddot{x}_p + c_p (x_p - x_K) + k_p (\dot{x}_p - \dot{x}_K); \\
 m_K \ddot{x}_K &= c_p (x_p - x_K) + k_p (\dot{x}_p - \dot{x}_K) - c_M (x_K - x_M) - k_M (\dot{x}_K - \dot{x}_M) - W \text{sign}(\dot{x}_K); \\
 m_M \ddot{x}_M &= c_M (x_K - x_M) + k_M (\dot{x}_K - \dot{x}_M) - \frac{mg}{l} (x_M - x); \\
 \ddot{x} &= \frac{g}{l} (x_M - x),
 \end{aligned} \right. \tag{1}$$

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОЙ
МАШИНЫ ПО ОПТИМАЛЬНОМУ ЗАКОНУ

где: u – передаточное число механизма перемещения крана; $r_{кол}$ – радиус приводного колеса крана; $\eta_{пер}$ – КПД передач привода крана; W – сопротивление перемещению мостового крана, приложенный к колесам конечных балок; l – длина гибкого подвеса груза; g – ускорение свободного падения; $i_{1\alpha}$, $i_{1\beta}$ – проекции обобщенного вектора тока статора на неподвижные координатные оси α и β ; $i_{2\alpha}$, $i_{2\beta}$ – проекции обобщенного вектора тока ротора на недвижимые координатные оси α и β ; L_1 , L_2 – индуктивности статорной и роторной обмоток; L_{12} – взаимоиנדукция; k_r и k_s – коэффициенты магнитной связи ротора и статора соответственно

$$(k_r = \frac{L_{12}}{L_2}; k_s = \frac{L_{12}}{L_1}); M$$

– электромагнитный момент двигателя; p – количество пар полюсов электрической машины; $u_{1\alpha}$, $u_{1\beta}$ – проекции обобщенного вектора напряжения статора на координатные оси α и β ($u_{1\alpha} = U_{max} \cos(2\pi \int f dt)$, $u_{1\beta} = U_{max} \sin(2\pi \int f dt)$); U_{max} – амплитуда фазного напряжения питания двигателя; f – частота напряжения питания двигателя; $e_{2\beta}$, $e_{2\alpha}$ – ЭДС, которые индуцируются потокосцеплениями ротора по осям α и β соответственно

$$(e_{2\alpha} = p\omega_{\delta\beta}(L_2 i_{2\beta} + L_{12} i_{1\beta}) + i_{2\alpha} R_2,$$

$e_{2\beta} = p\omega_{\delta\alpha}(L_2 i_{2\alpha} + L_{12} i_{1\alpha}) - i_{2\beta} R_2$); R_1 – активное сопротивление статорной обмотки; R_2 – приведенное к статору активное сопротивление роторной обмотки; δ – коэффициент рассеяния

$$(\delta = 1 - \frac{1}{(1 + \frac{X_1}{2\pi f L_{12}})(1 + \frac{X_2}{2\pi f L_{12}})}); X_1$$

$$\dot{x}_1 = \begin{cases} t^3(6t^2 - 15tT_1 + 10T_1^2)T_1^{-5}v/2, & \text{нпу } t \in [0; T_1]; \\ v/2, & \text{нпу } t \in [T_1; T_1 + \Delta T]; \\ \frac{v}{2T_1^5}(6t^5 - 30T_1^5 - 120T_1^4 \Delta T - 180T_1^3 \Delta T^2 - 130T_1^2 \Delta T^3 - 45T_1 \Delta T^4 - 6\Delta T^5 + \\ + 30t(T_1 + \Delta T)^2(2T_1 + \Delta T)^2 - 15t^4(3T_1 + 2\Delta T) - 30t^2(T_1 + \Delta T)(2T_1 + \Delta T)(3T_1 + \\ + 2\Delta T) + 10t^3(13T_1^2 + 18T_1 + 6\Delta T^2)), & \text{нпу } t \in [T_1 + \Delta T; 2T_1 + \Delta T], \end{cases} \quad (2)$$

тивное сопротивление статорной обмотки; X_2 – приведенное к статору индуктивное сопротивление роторной обмотки; m_p , m_k , m_m , m – приведенные к поступательному движению массы приводного механизма, конечных балок, моста и груза соответственно; x_p , x_k , x_m , x – обобщенные координаты, которые отвечают массам m_p , m_k , m_m и m ; c_p , c_k , c_m – приведенные жесткости привода, конечных балок и моста крана соответственно; k_p , k_m – приведенные коэффициенты диссипации в приводе и крановом мосту соответственно. Точка над символом означает дифференцирование по времени.

В работе [10] синтезирован оптимальный закон движения крана с грузом на гибком подвесе, который позволяет устранить колебание груза на гибком подвесе, причем использована двухмассовая динамическая модель. Оптимальный закон движения представляется в виде кусочно-непрерывной функции:

где: T_1 – продолжительность разгона до промежуточной скорости, которая равная половине установившейся; ΔT – продолжительность движения крана на промежуточной скорости (общая продолжительность переходного процесса равняется $2T_1 + \Delta T$). Заметим, что функция (2) имеет ценное свойство – ее реализация не связана с изменением знака динамической составляющей приводного усилия крана, который, в свою очередь, снижает уровень динамической нагруженности элементов крана.

Функция (2) доставляет абсолютные минимумы терминальным критериям

$$\begin{cases} F_{\text{дин}}^2(0) \rightarrow \text{abs min}; \dot{F}_{\text{дин}}^2(0) \rightarrow \text{abs min}; \\ \dot{F}_{\text{дин}}^2(T_1) \rightarrow \text{abs min}; \\ \dot{F}_{\text{дин}}^2(T_1 + \Delta T) \rightarrow \text{abs min}; \\ F_{\text{дин}}^2(2T_1 + \Delta T) \rightarrow \text{abs min}; \dot{F}_{\text{дин}}^2(2T_1 + \Delta T) \rightarrow \text{abs min}, \end{cases} \quad (3)$$

где: $F_{\text{дин}}$ – динамическая составляющая приводного усилия для двухмассовой модели движения крана с грузом на гибком подвесе:

$$F_{\text{дин}} = m_1 \ddot{x}_1 + m_2 \ddot{x}_2, \quad (4)$$

где: m_1, m_2 – приведенные к поступательному движению массы крана и груза соответственно; x_1, x_2 – координаты центров соответствующих масс.

Исследуем возможность использования закона движения (2) для четырехмассовой модели крана. Для этого в оптимальном законе движения необходимо положить: $m_1 = m_p + m_k + m_m, m_2 = m, x_1 = x_p$. Кроме того, учтем также характер изменения частоты напряжения питания двигателя при реализации оптимального управления движением крана. Для того, чтобы „отработать” нестандартный (не записанный в частотный преобразователь) закон изменения частоты напряжения питания, необходимо превратить непрерывный закон в дискретную форму. Процесс управления скоростью движения кранового двигателя будет состоять в „отправке” на частотный преобразователь дискретных значений частоты, а переход между соседними значениями частоты будет происходить по линейному закону.

Оценка эффективности использования оптимального управления движением мостового крана проведена по энергетическим, электрическим, динамическим и кинематическим показателям. Расчетные эксперименты проведены при условии, что длина гибкого подвеса меняется со временем: уменьшается при разгонке крана и увеличивается при его торможении.

Для того, чтобы работа мостового крана имела значительную производительность необходимо, чтобы продолжительность пе-

реходных процессов была незначительной. Для этого поставим условие – продолжительность переходного процесса (разгона и торможения) крана должна быть равной периоду свободных колебаний груза на гибком подвесе для двухмассовой динамической системы крана, который находится из такого выражения [4]:

$$T_{\text{пер}} = 2\pi \sqrt{\frac{m_1}{m_1 + m_2} \frac{l}{g}}. \quad (5)$$

Поставленное условие в математическом виде записывается так:

$$T_1 + \pi \sqrt{\frac{l}{g}} = 2\pi \sqrt{\frac{m_1}{m_1 + m_2} \frac{l}{g}}. \quad (6)$$

Можем найти продолжительность разгона T_1 до промежуточной скорости:

$$T_1 = \sqrt{\frac{l}{g}} \left(2\pi \sqrt{\frac{m_1}{m_1 + m_2}} - \pi \right). \quad (7)$$

Независимыми факторами в исследованиях есть: начальная длина гибкого подвеса груза l_0 , начальное напряжение питания крановых приводных двигателей U_0 . Каждый независимый фактор варьируется на трех уровнях.

Необходимо сказать, что показатель U_0 является функцией частоты напряжения питания приводных крановых двигателей:

$$U = U_0 + (U_{\text{ном}} - U_0) \frac{f}{f_{\text{ном}}}, \quad (8)$$

где: U_0 – начальное значение напряжения питания приводных крановых двигателей; $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение питания двигателей ($U_{\text{ном}} = 380$ В); $f_{\text{ном}}$ – номинальная частота напряжения питания двигателей ($f_{\text{ном}} = 50$ Гц).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МЕХАНИЗМА ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОЙ
МАШИНЫ ПО ОПТИМАЛЬНОМУ ЗАКОНУ

Таблица 1. Показатели движения мостового крана по оптимальному закону (2)
Table 1. Indexes of motion of travelling crane on an optimal law (2)

Показатели	Начальная длина гибкого подвеса груза		
	2,5 м	7,5 м	14,5 м
Затраты энергии E , Дж	508371	433105	399832
	453048	403743	367160
	416962	187749	173236
Потери энергии ΔE , Дж	354910	283977	260345
	298287	252779	221884
	255852	21647	17025
Относительные потери энергии \tilde{E} , %	69,81	65,56	65,11
	65,83	62,60	60,43
	61,36	11,53	9,82
Максимальный электромагнитный момент двигателя M_{\max} , Нм	150	150	150
	155	150	150
	150	102	81
Кратность максимального момента двигателя, \tilde{M}_{\max}	2,69	2,69	2,69
	2,77	2,69	2,69
	2,69	1,83	1,46
Максимальный ток двигателя I_{\max} , А	246	245	245
	245	242	246
	246	67	52
Кратность максимального тока двигателя, \tilde{I}_{\max}	6,07	6,03	6,03
	6,03	5,98	6,08
	6,03	1,67	1,28
Максимальный момент на быстроходном валу привода $M_{n,\max}$, Нм	428	411	377
	443	371	337
	378	81	62
Максимальное приведенное усилие в крановом мосту $R_{m,\max}$, Н	34843	33438	30706
	39769	32323	56027
	49235	24881	22473
Максимальное отклонение каната с грузом от вертикали, Δx_{\max} , м	0,335	0,367	1,050
	0,370	0,585	0,982
	0,204	0,512	0,700
Максимальный угол отклонения каната с грузом от вертикали, $\Delta \varphi_{\max}$, рад	0,111	0,045	0,070
	0,123	0,073	0,065
	0,068	0,064	0,046
Линейная амплитуда остаточных колебаний каната с грузом после остановки крана, $\Delta x_{\max}(t > T)$, м	0,224	0,260	0,354
	0,043	0,264	0,429
	0,118	0,025	0,026
Угловая амплитуда остаточных колебаний каната с грузом после остановки крана, $\Delta \varphi_{\max}(t > T)$, рад	0,074	0,032	0,023
	0,014	0,033	0,028
	0,039	0,003	0,001

В таблице 1 представлены показатели, которые получены с помощью проведения расчетных экспериментов. Три значения в каждой ячейке таблицы 1 отвечают трем значениям начального напряжения питания $0, 0,1U_{ном}$ и $0,3U_{ном}$ [20].

Проанализируем данные, которые представлены в табл. 1. Сравнивая между собой энергетические показатели приходим к выводу, что увеличение длины гибкого подвеса груза уменьшает затраты энергии. Кроме того, необходимо обратить внимание на то, что при начальной длине гибкого подвеса 7,5 и 14,5 метров и начальном напряжении питания двигателей $0,3U_{ном}$ происходит значительное уменьшение затрат энергии за счет уменьшения вредных потерь электроэнергии в приводных крановых двигателях. Таким образом, оптимальный закон движения (2) выгодно использовать именно при значительной длине гибкого подвеса груза и ненулевом напряжении питания двигателя.

Аналогичное утверждение можно сделать для электрических и динамических показате-

телей работы крана, так как при указанных условиях максимальные значения тока, электромагнитного момента, максимального приведенного усилия в крановом мосту и максимального момента на быстроходном валу привода значительно меньше, чем при других условиях эксплуатации крана.

Анализ кинематических показателей работы крана показывает, что указанные условия работы крана (большая длина гибкого подвеса груза и ненулевое начальное напряжение питания двигателей) приводит к практически полному устранению нежелательных колебаний груза.

При других условиях присутствуют остаточные колебания груза, что связано с некачественной реализацией оптимального закона движения (2). Проиллюстрируем сказанное графиками, которые представлены на рис. 2 (серая линия показывает график заданной скорости движения крана, а черная – график скорости движения крана, который получен с помощью проведения расчетных экспериментов).

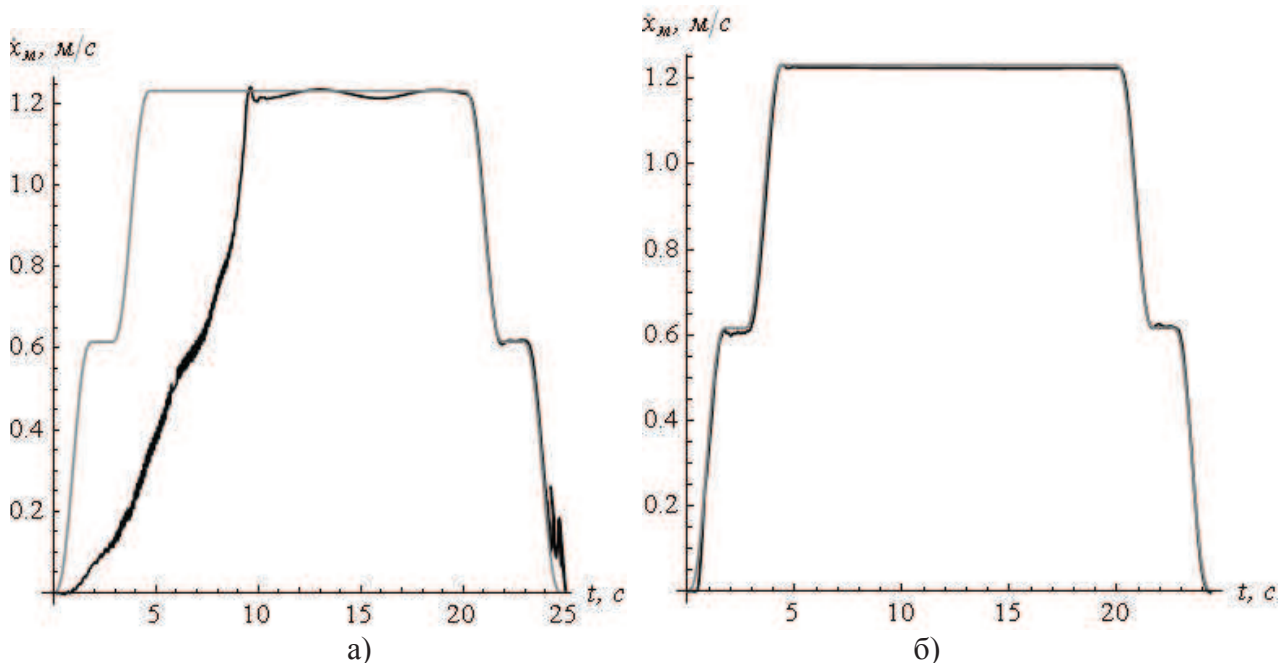


Рис. 2. Графики изменения скорости движения кранового моста при начальной длине гибкого подвеса груза 7,5 метров и начальном напряжении питания крановых двигателей: а) 0; б) $0,3U_{ном}$

Fig. 2. Charts of change of rate of movement of faucet bridge at initial length of flexible suspension of load 7,5 meters and initial tension of feed of faucet engines : а) 0; б) $0,3U_{ном}$

ВЫВОД

В результате проведенных исследований установлено, что использование оптимального закона движения грузоподъемного крана с грузом на гибком подвесе возможно лишь при значительной длине гибкого подвеса груза. Указанные условия позволяют качественно реализовать закон движения крана, что в свою очередь устраняет нежелательные колебания груза на гибком подвесе, снижает динамическую нагруженность работы привода и мостовой конструкции крана, уменьшает максимальные значения токов и электромагнитных моментов электропривода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Firago B.I. 2004: Teoriya elektroprivoda / Firago B.I. – Minsk.: ZAO „Tekhnoperspektiva”. – 527.
2. Sokolovskiy G.G. 2006: Elektroprivody peremennogo toka s chastotnym regulirovaniyem [uchebnik] / Sokolovskiy G.G. – M.: Academia. – 265.
3. Loveykin V.S. 1990: Raschety optimalnikh rezhimov dvizheniya mekhanizmov stroitelnykh mashin / V.S. Loveykin. – K.: UMK VO. – 168.
4. Komarov M.S. 1969: Dinamika gruzopodyemnykh mashin / M.S. Komarov. – M.: Mashinostroyeniye. – 206.
5. Zaytsev Yu.I. 1980: Issledovaniye nestatsionarnykh kolebaniy i optimalnyye rezhimy raboty gruzopodyemnykh mashin s postupelnymi dvizheniyami: avtoref. diss. na soisk. step. kand. tekhn. nauk: spets. 01.02.06 „Dinamika, prochnost mashin, priborov i apparatury” / Yu.I. Zaytsev. – Kh., 1981. – 26 s.
6. Chernousko F.L. Upravleniye kolebaniyami / F.L. Chernousko, L.D. Akulenko, B.N. Sokolov. – M.: Nauka. – 384.
7. Budikov L.Ya. 1997: Mnogoparametricheskiiy analiz dinamiki gruzopodyemnykh kranov mostovogo tipa / L.Ya. Budikov. – Lugansk: Izdatelstvo VUGU. – 210.
8. Geronimus Ya.L. 1966: O nekotorykh metodakh opredeleniya optimalnogo zakona dvizheniya, rassmatrivayemogo kak upravlyayushcheye vozdeystviye / Ya.L. Geronimus, M.M. Perelmuter // Mashinovedeniye. – № 6. – 6-24.
9. Gerasimyak R.P. 2008: Analiz i sintez kranovykh elektromekhanicheskikh sistem / R.P. Gerasimyak, V.A. Leshchëv. – Odessa.: SMIL. – 192.
10. Loveykin V.S. 2012: Analiz i sintez rezhimov dvizheniya mekhanizmov gruzopodyemnykh mashin / V.S. Loveykin, Yu.O. Romasevich. – K.: TsP „KOMPRINT”. – 298.
11. Grigorov O.V. 1995: Sovershenstvovaniye rabochikh kharakteristik kranovykh mekhanizmov: diss. na soisk. step. doktora tekhn. nauk: 05.05.05 / Grigorov Otto Vladimirovich. – Kh. – 386.
12. Melnikova L.V. 2000: Avtomatizatsiya tekhnologicheskogo protsessa peremeshcheniya mekhanizma s podveshennym gruzom sredstvami mikroprotsessornogo upravleniya: diss. na soisk. step. kand. tekhn. nauk: 05.09.03 / Melnikova Lyubov Vasilyevna. – Odessa. – 116.
13. Bazil Sh. 1993: Upravleniye elektroprivodom tsiklicheskiy rabotayushchikh mekhanizmov gorizontalnogo peremeshcheniya: diss. na soisk. step. kand. tekhn. nauk: 05.09.03 / Bazil Shafik. – Odessa. – 186.
14. Terekhov V.M., Osipov O.I. 2005: Sistemy upravleniya elektroprivodov: uchebnik / V.M. Terekhov, O.I. Osipov; pod red. V.M. Terekhova. – Saratov: Izd. tsentr „Akademiya”. – 300.
15. Sokhadze A.G. 2006: Mekhatronnaya sistema gruzopodyemnogo kрана dlya avtomaticheskoy stabilizatsii polozheniya gruzа i upravleniya yego dvizheniyem: diss. na soisk. step. kand. tekhn. nauk: 05.02.05 / Sokhadze Aleksandr Georgiyevich. – Novocherkassk. – 218.
16. Smekhov A.A. 1975: Optimalnoye upravleniye podyemno-transportnymi mashinami / A.A. Smekhov, N.I. Yerofeyev. – M.: Mashinostroyeniye. – 239.
17. Romasevich Yu.O. 2011: Optimizatsiya rezhimu zmini vilotu vantazhu bashtovogo kрана za odinichnimi kinematichnimi kriteriyami / Romasevich Yu.O., Shumilov G.V. // Motrol. – Tom 13 B. – 167-173.
18. Romasevich Yu.A. 2012: Realizatsiya optimalnogo upravleniya dvizheniyem dinami-

cheskikh sistem s ispolzovaniyem PD- i PID-regulirovaniya / Yu.A. Romasevich // Motrol. – Vol 14. – № 3. – 176-183.

19. Preobrazovateli 2008: Preobrazovateli chasty FR-E7: rukovodstvo po ekspluatatsii: artikul 212650. Versiya V. Mitsubishi Electric Industrial Automation. – 512.

20. Preobrazovatel 2009: Preobrazovatel chasty Altivar 71 ot Schneider Electric – optimalnoye resheniye dlya primeneniya v sistemakh upravleniya podyemno-transportnym oborudovaniyem. [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: URL: http://www.schneider-electric.ua/ukraine/ua/products-services/offer-updates/newsiewer.page?c_filepath=template-data/Content/News/data_ua/local/automation_control/general_information/2009/07/20090722_altivar_71_schneider_electric_.xml. – Nazvaniye s ekrana.

LOAD-LIFTING MACHINE MECHANISM MOVEMENT SIMULATION BY OPTIMAL LAW

Summary. Simulation of bridge crane movement have been carry out. Optimal drive crane force have been realized by mean frequency regulation of electric motor. Efficiency estimation of optimal control have been calculated by power, electrical, dynamical and kinematic indexes. Rational options of drive have been established for quality realizing of optimal control.

Key words: bridge crane, optimal control, frequency-controlling electric drive, efficiency indexes.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СРЕЗА БОТВЫ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ КОПИРНО-РОТОРНЫМ ОТДЕЛИТЕЛЕМ

*Владимир Булгаков¹, Николай Березовой¹, Олег Черныш¹, Вадим Ярёмченко¹,
Николай Борис²*

¹*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15*

²*Подольский государственный аграрно-технический университет
Украина, Хмельницкая обл., г. Каменец-Подольский, ул. Шевченко, 14*

*Vladimir Bulgakov¹, Nicholas Berezovoy¹, Oleg Chernysh¹, Vadim Yaremenko¹,
Nicholay Boris²*

¹*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine*

²*Podolsky State Agrarian Technical University
Shevchenko Str., 14, Kamenetz-Podolsky, Khmelnytsky region, Ukraine*

Аннотация. На основании построенной математической модели движения очистительного элемента нового отделителя ботвы по головке корнеплода сахарной свёклы и решения полученных выражений на ПЭВМ получены аналитические зависимости усилий в указанной точке контакта. Построены графические зависимости изменения составляющих нормальной реакции в точке контакта рабочего элемента с головкой корнеплода. Значения составляющих нормальной реакции были использованы в дальнейшем для силового анализа указанного взаимодействия.

Ключевые слова: атематическая модель, ботва, корнеплод, головка корнеплода, рабочий элемент, точка контакта, силовое взаимодействие.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Сахарная свёкла является стратегической культурой, поскольку сахар, жом и зеленая масса ботвы являются полезными продуктами для людей и животных. Ключевым вопросом при производстве сахарной свёклы является ее уборка. Особенного внимания заслуживает операция среза ботвы с головок на корню. Так, незначительное количество остатков ботвы на головках корнеплодов перед их уборкой значительно ухудшает качественные показатели, что в целом может снизить качество на 10-15%. Поэтому отделение ботвы с головок корнеплодов является актуальным научно-техническим заданием.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Вопросам теоретических и экспериментальных исследований среза ботвы с головок корнеплодов сахарной свеклы посвящены многие труды П.М. Василенка, В.М. Булгакова, Л.В. Погорелого, П.В. Савича, Н.В. Татьяна и др. [1-6,14-21]. При этом ставится задача

исследовать и спроектировать свеклоуборочные машины, которые бы отвечали современным требованиям и нормам качества и сертификации [2]. Нами разработан новый рабочий орган для уборки ботвы – копирно-роторный отделитель ботвы, который удовлетворяет указанным требованиям [3].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка методики аналитического исследования движения рабочего элемента копирно-роторного отделителя ботвы по головке корнеплода.

ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом данного исследования является движение рабочего элемента копирно-роторного отделителя ботвы сахарной свеклы по поверхности головки корнеплода.

Для проведения исследований используются основные положения теоретической механики и сопротивления материалов, а

также предыдущие исследования физико-механических свойств корнеплодов сахарной свеклы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для определения усилий, которые возникают при взаимодействии рабочего элемента с головкой корнеплода, вначале была построена эквивалентная схема (рис. 1), на которой рабочий элемент при вращательном движении, а также при поступательном перемещении контактирует с головкой корнеплода сахарной свёклы.

В точке K контакта рабочего элемента с головкой корнеплода будут действовать следующие силы: \bar{Q} – сила счесывания ботвы [8], которая направлена по касательной к поверхности головки корнеплода, в сторону вектора абсолютной скорости точки M рабочего элемента; \bar{N} – нормальная реакция со стороны головки корнеплода, направленная вдоль нормали \bar{n} к головке корнеплода, проведенной через данное положение точки

контакта; $\bar{F}_{тр}$ – сила трения, которая возникает при движении рабочего элемента по головке корнеплода, направлена в сторону, противоположную направлению вектора абсолютной скорости точки M рабочего элемента, совпадает с точкой контакта K и представлена в виде составляющих на оси x и y ; \bar{G} – сила веса рабочего элемента.

Дифференциальное уравнение движения точки контакта K по головке корнеплода в векторной форме будет иметь такой вид [8, 13]:

$$m\bar{a} = \bar{Q} + \bar{N} + \bar{F}_{тр} + \bar{G}, \quad (1)$$

где: \bar{a} – абсолютное ускорение движения точки контакта K по головке корнеплода; m – масса рабочего элемента, приведённая к точке контакта.

После подстановки в (1) необходимых величин и необходимых преобразований получена система нелинейных дифференциальных уравнений второго порядка относительно неизвестных функций $x(t)$, $y(t)$ и $z(t)$ и неизвестной нормальной реакции N :

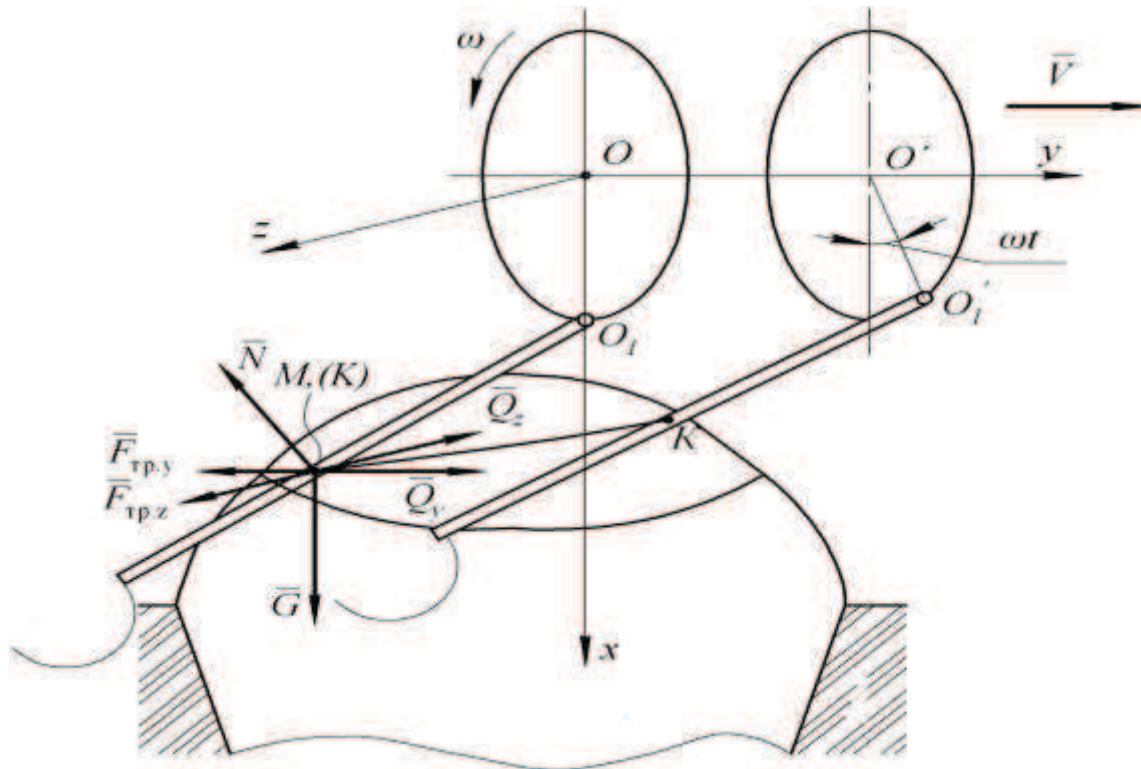


Рис. 1. Эквивалентная схема взаимодействия рабочего элемента отделителя ботвы с головкой корнеплода сахарной свёклы

Fig. 1. Equivalent chart of co-operation of working element of separator of tops with the head of root crop of sugar beet

$$\left. \begin{aligned} m\ddot{x} &= Q \frac{\dot{x}}{V} + N \frac{x}{R} - f \frac{\dot{x}}{V} N + mg, \\ m\ddot{y} &= Q \frac{\dot{y}}{V} + N \frac{y}{R} - f \frac{\dot{y}}{V} N, \\ m\ddot{z} &= Q \frac{\dot{z}}{V} + N \frac{z}{R} - f \frac{\dot{z}}{V} N, \\ x^2 + y^2 + z^2 - R^2 &= 0. \end{aligned} \right\} (2)$$

Систему дифференциальных уравнений (2) можно решить лишь численными методами с использованием компьютерных программ при заданных начальных условиях. Поскольку, в систему дифференциальных уравнений (2) входит неизвестный силовой фактор нормальная реакция N , то для ее определения было проведено исследование кинематики взаимодействия рабочего элемента с головкой корнеплода. В результате этого исследования получена зависимость угла отклонения φ рабочего элемента и его углового ускорения $\ddot{\varphi}$ от времени.

С учетом предположений о том, что головка корнеплода сахарной свёклы есть абсолютно твердое тело, а рабочий элемент безотрывно контактирует с корнеплодом, было составлено дифференциальное уравнение вращательного движения рабочего элемента вокруг собственной оси подвеса в момент его взаимодействия с головкой корнеплода [7, 8, 9, 10, 13, 14]:

$$J\ddot{\varphi} + \sum M = 0, \quad (3)$$

где $\sum M$ – сумма моментов центробежных сил инерции, что действуют на рабочий элемент.

Из уравнения (3) после алгебраических преобразований [9, 10], определена нормаль-

ная реакция на корнеплод сахарной свеклы при воздействии на него системы из двух рабочих элементов:

где: δ – отклонение оси ротора от условной осевой линии рядка; b – конструктивная ширина рабочего элемента; M_R и M_{R2} – моменты центробежных сил инерции предыдущего и следующего рабочих элементов относительно их осей подвеса; m_{21} – плечо нормальной реакции действия следующего рабочего элемента на предыдущий относительно его оси подвеса; φ_2 – угол отклонения следующего рабочего элемента от плоскости вращения; α – угол поворота вала ротора; ρ – расстояние от оси ротора до вершины головки корнеплода; d – расстояние от оси ротора до уровня поверхности почвы; r_0 – радиус оси подвеса рабочего элемента; l_{mn} – длина копирующей части рабочего элемента.

Двигаясь по головке корнеплода, рабочий элемент может действовать на нее в продольном направлении рядка и в поперечном, а также сжимать головку корнеплода в вертикальном направлении. Это предопределено наличием силовых факторов, которые представляют собой проекции общей нормальной реакции на указанные направления. В частности, составляющая нормальной реакции N_z вызывает выбивание корнеплодов в поперечном направлении, а N_y в продольном направлении относительно рядка. Вертикальная же составляющая нормальной реакции N_x обеспечивает необходимое усилие в контакте “головка корнеплода-рабочий элемент”. Эти силы влияют на такие показатели качества процесса отделения ботвы, как повреждение и выбивание головок корнеплодов. Они имеют следующие значения:

$$N = \frac{J\ddot{\varphi} + M_R - \frac{J\ddot{\varphi}_2 + M_{R2} \sqrt{\sin^2 \varphi_2 \cos^2 \alpha + \cos^2 \varphi_2} m_{21}}{\sqrt{\left[(r_0 + l_{mn} \cos \varphi_2) \cos \alpha - \frac{b}{2} \sin \alpha \right]^2 + \left[(r_0 + l_{mn} \cos \varphi_2) \sin \alpha - \frac{b}{2} \cos \alpha \right]^2}}}{\sqrt{\left[\rho \sin(\alpha_0 + \omega t) \right]^2 + \left[-\operatorname{tg} \varphi_0 \left(\sqrt{\delta^2 + (d-h)^2 - \left(\frac{b}{2}\right)^2} - r_0 \right) - Vt \right]^2}}, \quad (4)$$

$$N_x = \left[\frac{\gamma sl \omega^2 \left(\frac{1}{2} r_0 \sin \varphi + \frac{l^2}{6} \sin 2\varphi \right)}{OK} + \frac{\ddot{\varphi}}{OK} \right] \cos \omega t \times$$

$$\times \sin \left[\varphi_0 + \operatorname{arccctg} \left(\frac{-\operatorname{tg} \varphi_0 \left(\sqrt{\delta^2 + (d-h)^2 - \left(\frac{b}{2} \right)^2} - r_0 \right) - Vt}{\sqrt{\delta^2 + (d-h)^2} \sin \left[\omega t - \arccos \left(\frac{b}{2\sqrt{\delta^2 + (d-h)^2}} \right) \right] - r_0} \right) \right], \quad (5)$$

$$N_y = \left[\frac{\gamma sl \omega^2 \left(\frac{1}{2} r_0 \sin \varphi + \frac{l^2}{6} \sin 2\varphi \right)}{OK} + \frac{\ddot{\varphi}}{OK} \right] \times$$

$$\times \cos \left[\varphi_0 + \operatorname{arccctg} \left(\frac{-\operatorname{tg} \varphi_0 \left(\sqrt{\delta^2 + (d-h)^2 - \left(\frac{b}{2} \right)^2} - r_0 \right) - Vt}{\sqrt{\delta^2 + (d-h)^2} \sin \left[\omega t - \arccos \left(\frac{b}{2\sqrt{\delta^2 + (d-h)^2}} \right) \right] - r_0} \right) \right], \quad (6)$$

$$N_z = \left[\frac{\gamma sl \omega^2 \left(\frac{1}{2} r_0 \sin \varphi + \frac{l^2}{6} \sin 2\varphi \right)}{OK} + \frac{\ddot{\varphi}}{OK} \right] \times$$

$$\times \sin \left[\varphi_0 + \operatorname{arccctg} \left(\frac{-\operatorname{tg} \varphi_0 \left(\sqrt{\delta^2 + (d-h)^2 - \left(\frac{b}{2} \right)^2} - r_0 \right) - Vt}{\sqrt{\delta^2 + (d-h)^2} \sin \left[\omega t - \arccos \left(\frac{b}{2\sqrt{\delta^2 + (d-h)^2}} \right) \right] - r_0} \right) \right], \quad (7)$$

где: N_x – вертикальная составляющая нормальной реакции, которая будет деформировать головку корнеплода и прижимать корнеплод в глубину почвы; N_y – горизонтальная составляющая нормальной реакции, которая будет выбивать корнеплод в направлении движения машины; N_z – горизонтальная составляющая нормальной реакции, которая

будет выбивать корнеплод в направлении перпендикулярном оси ротора.

По результатам численного моделирования на ПЭВМ были построены графические зависимости (рис. 2-4) указанных составляющих сил от времени.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СРЕЗА БОТВЫ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ КОПИРНО-РОТОРНЫМ ОТДЕЛИТЕЛЕМ

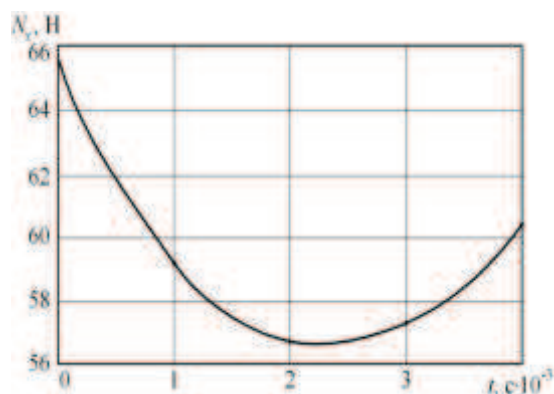


Рис. 2. Зависимость вертикальной составляющей нормальной реакции N_x от времени
Fig. 2. Dependence of vertical constituent of normal reaction of N_x on time

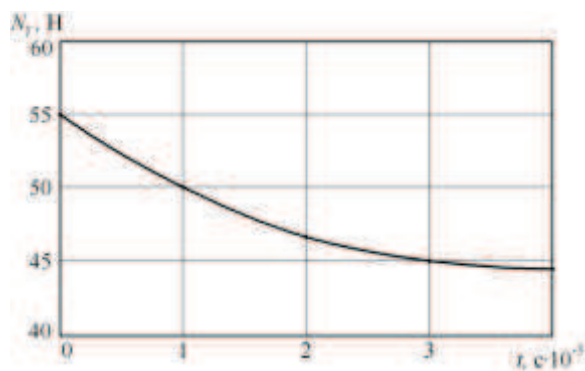


Рис. 3. Зависимость продольно-горизонтальной N_y составляющей нормальной реакции от времени
Fig. 3. Dependence of longitudinally-horizontal N_y of making normal reaction on time

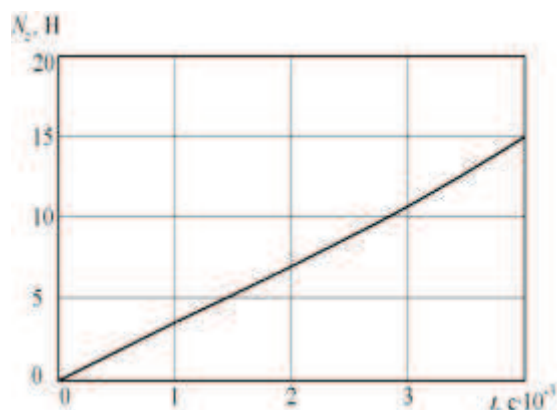


Рис. 4. Зависимость поперечно-горизонтальной составляющей нормальной реакции N_z от времени
Fig. 4. Dependence of поперечно-горизонтальной N_z of making normal reaction on time

Как видим из графиков (рис. 2-4) макси-

мальные значения указанных составляющих нормальной реакции N , составляют $N_{x\ max} = 65,0$ Н, $N_{y\ max} = 55,0$ Н, $N_{z\ max} = 15,0$ Н. Эти значения были в дальнейшем использованы при моделировании силового взаимодействия очистительного элемента с головкой корнеплода сахарной свеклы.

ВЫВОДЫ

1. Составлена система дифференциальных уравнений второго порядка, описывающая движение точки контакта рабочего элемента по головке неподвижно закрепленного в почве корнеплода сахарной свёклы.

2. В результате решения дифференциального уравнения вращательного движения рабочего элемента найдено аналитическое выражение нормальной реакции головки корнеплода на рабочий элемент.

3. Таким образом, на основании математического моделирования полученные значения нормальных реакций, действующих в точке контакта рабочего элемента с головкой корнеплода. А именно, $N_{x\ max} = 65,0$ Н, $N_{y\ max} = 55,0$ Н, $N_{z\ max} = 15,0$ Н.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bulgakov V.M. 2005: Teoriya buryakozbiralnikh mashin. Monografiya / V. M. Bulgakov. – Kiiiv: Vidavnichiy tsentr NAU. – 245.
2. Sydorhuk O. 2007: Designing agricultural machinery, its conformity to international requirements of quality, standardization and certification. – MOTROL. Motorization And Power Industry in Agriculture. Volume 9 A. Lublin. Poland. – 207-211.
3. Patent. 2012: Patent na vinakhid 98917, Ukraina, MPK A 01D 23/02. Ochisnik golovok koreneplovdiv vid zalishkiv gichki / V. M. Bulgakov, A. M. Boris. – № u201113784; Zayavl. 23.11.2011; Opubl. 25.06.2012, Byul. №12.
4. Vasilenko P. M. 1984: Osnovy nauchnykh issledovaniy (Mekhanizatsiya selskokhozyaystvennogo proizvodstva) / P. M. Vasilenko, L. V Pogorelyy. – K.: Vishcha shkola. – 266.
5. Kompleksnaya mekhanizatsiya.1962: Kompleksnaya mekhanizatsiya proizvodstva

- sakharnoy svekly / [A. A. Vasilenko, P. T. Babiy, P. V. Savich i dr.]. – K. – 243.
6. Pogorelyy L. V. 2004: Svelkouborochnyye mashiny: istoriya, konstruktsiya, teoriya, prognoz / L. V. Pogorelyy, N. V. Tatyanko – K.: Feniks. – 232.
7. Filchakov P. F. 1974: Spravochnik po vysshey matematike / P. F. Filchakov. – K.: Nauchnaya mysl, 1974. – 743.
8. Targ S. M. 1986: Kratkiy kurs teoreticheskoy mekhaniki: uchebn. [dlya vyssh. tekhnich. zavedenny] / S. M. Targ. – M.: Vyssh. shk. – 416.
9. Pisarenko G. S. 1975: Spravochnik po soprotivleniyu materialov / Pisarenko G. S., Yakovlev A. P., Matveyev V. V. – Kiyev: Naukova dumka, – 704.
10. Osnovnyye. 1988: Osnovnyye matematicheskiye formuly / [Vodne V.T., Naumovich A.F., Naumovich N.F.]; pod red. Yu. S. Bogdanova. – Minsk.: Vysheyshaya shkola. – 255.
11. Khelemendik N. M. 1996: Povysheniye mekhaniko-tekhnologicheskoy effektivnosti trudoyemkikh protsessov v svelklovodstve: avtoref. dis. na soiskaniye nauch. stepeni dokt. tekhn. nauk.: spets. 05.20.01 “Mekhanizatsiya selskokhozyaystvennogo proizvodstva” / N. M. Khelemendik. – Ternopol.: TPI. – 48.
12. Khelemendik N. M. 1968: Issledovaniye tekhnologicheskogo protsessa i rabochikh organov dlya uborki sakharnoy svekly v usloviyakh Zapadnoy Stepi USSR: Diss. kand. tekhn. nauk.: 05.410 / Khelemendik Nikolay Mikhaylovich. – Voronezh. – 31 s.
13. Bat M. I. 1973: Teoreticheskaya mekhanika v primerakh i zadachakh: uch. posobiye / Bat M. I., Dzhanilidze G. Yu., Kelzon A. S. – M.: Nauka. – 488.
14. Butenin N. V. 1985: Kurs teoreticheskoy mekhaniki / Butenin N. V., Lunts Ya. L., Merkin D. R. T.2. – M.: Nauka. – 496.
15. VISKhOM. 1970: Fiziko-mekhanicheskiye svoystva rasteniy, pochv i udobreniy: metody issledovaniya, pribory, kharakteristiki. – M.: Kolos. – 417.
16. Vovk P. F. 1936: Agrofizicheskiye svoystva korney sakharnoy svekly v svyazi s mekhanizatsiyey uborki / P. F. Vovk. // V sb.: Teoriya, konstruktsiya i proizvodstvo selskokhozyaystvennykh mashin. T. 2. – L.: Selkhozgiz. – 269-284.
17. Mekhaniko-tekhnologicheskkiye 2000: svoystva selskokhozyaystvennykh materialov: praktikum / [Voytyuk D. G., Tsarenko O.M., Yatsun S. S. i dr.]; za red. S. S. Yatsuna. – K.: Agrarnoye obrazovaniye. – 93.
18. Bulgakov V.M. 2011: Teoriya robochogo protsesu vidalennya gichki z koreneplodiv tsukrovikh buryakiv / V. M. Bulgakov, A. M. Boris // Naukoviy visnik natsionalnogo universitetu bioresursiv i prirodozoristuvannya Ukraini. – K. – Vip. 166, ch. 1. – 350.
19. Gulyayev V. I. 1989: Kolebaniya sistem tverdyykh i deformiruyemykh tel pri slozhnom dvizhenii / V.I. Gulyayev, P. P. Lizunov // – K.: Vishcha shkola. – 197.
20. Bulgakov V. 2004: Design of agricultural machinery in Ukraine, its conformity to the international requirements of quality, standardizations and certification. – MOTROL. Motorization and power industry in agriculture. Volume VI. Lublin. Poland. – 33-39.
21. Bulgakov V., Nowak J., Przystupa W. 2004: A mathematical model of drum-type sugar beet tops cleaner. – Polish academy of sciences branch in Lublin. Teka commission of motorization and energetics in agriculture. Volume IV. Lublin. Poland. – 40-49.

THEORETICAL STUDY OF CUT OF PLANT TOPS SUGAR BEET WITH COPYING-ROTOR SEPARATOR

Summary. On basis of constructed mathematical model of motion of new separator cleaning element topper on head of sugar beet and solutions derived forms on PC based analytical dependence of efforts in indicated point of contact. Constructed graphic dependence changes of components of normal reaction at point of contact of working element with the head root. Values of components of normal reaction was used in future for power analysis of this interaction.

Key words: mathematical model, tops, root, root head, working element, system of working element, point of contact, interaction strength.

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА РИСКА ОСТРОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ЗАБОЛЕВАНИЯ (ОТРАВЛЕНИЯ) РАБОТНИКОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ЯДОВИТЫМИ ХИМИЧЕСКИМИ ВЕЩЕСТВАМИ

Олег Гнатюк¹, Александр Войналович², Тамара Билько², Владимир Голод¹

¹*Министерство аграрной политики и продовольствия Украины*

Украина, г. Киев, ул. Хрещатик, 24

²*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины*

Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15

Oleg Gnatyuk¹, Alexander Voynalovich², Tamara Bilko², Vladimir Golod¹

¹*Ministry of Agriculture Policy and Food of Ukraine*

Khreschatyk Str., 24, Kiev, Ukraine

²*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Проведена вероятностная оценка риска острого профессионального заболевания (отравления) работников сельского хозяйства, использующих в технологическом процессе различные ядовитые химические вещества. Определены наиболее значимые производственные факторы, влияющие на возникновение опасной ситуации, связанной с возможностью отравления работников, применяющих данные вещества.

Ключевые слова: вероятностная оценка риска, ядовитые химические вещества, производственные факторы, опасная ситуация, острое профессиональное заболевание (отравление).

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Широкое использование различных химических веществ в технологическом процессе выращивания сельскохозяйственных культур влечет за собой определенные риски возникновения острых профессиональных заболеваний (отравлений) у работников, использующих данные вещества. Наиболее высокая вероятность воздействия ядовитых веществ наблюдается при приготовлении различных химических растворов для обработки посевного материала, внесения в почву, опрыскивания посевов и т.д.

С другой стороны, современное состояние производственного травматизма и профзаболеваний в агропромышленном комплексе Украины свидетельствует о наличии значительных недостатков в работе служб охраны труда предприятий и организаций,

их должностных лиц относительно осуществления соответствующих профилактических мер с целью предупреждения несчастных случаев на производстве [1, 2].

На сегодняшний день улучшить состояние охраны труда на сельскохозяйственных предприятиях путем внедрения лишь отдельных профилактических мероприятий не удастся. Только системный подход способен дать положительный результат. А это возможно при помощи внедрения системы отслеживания потенциальных опасностей и разработки на ее основании профилактических мероприятий [3, 4].

Важную роль в этом процессе должно сыграть установление причин несчастных случаев и определение степени их влияния на вероятность наступления нежелательного события для дальнейшего принятия соответствующих профилактических мер.

Одним из методов качественного и количественного исследования причин производственных травм и профессиональных заболеваний (отравлений) является метод «дерева отказов», который нашел широкое применение в решении задач вероятностного анализа надежности и безопасности машин, оборудования и процессов [5].

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ результатов последних исследований в сфере охраны труда, направленных на преодоление проблемы производственного травматизма и профессиональных заболе-

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА РИСКА ОСТРОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ЗАБОЛЕВАНИЯ (ОТРАВЛЕНИЯ) РАБОТНИКОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ЯДОВИТЫМИ ХИМИЧЕСКИМИ ВЕЩЕСТВАМИ

ваний в сельскохозяйственном производстве, показывает, что к вопросу оценки профессионального риска привлечено внимание многих специалистов [6-10]. Вместе с тем, лишь некоторые работы свидетельствуют о попытке их авторов количественно определить вероятность попадания работников в опасную ситуацию с дальнейшим их повреждением влиянию опасных производственных факторов [11-15], хотя исследования и разработки в этом направлении уже существуют в атомной энергетике [16] и химической промышленности [17].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является моделирование опасной ситуации, связанной с использованием различных химических веществ в процессе производства сельскохозяйственной продукции, вероятностная оценка риска острого профессионального заболевания в результате применения вышеупомянутых веществ, определение степени влияния каждого базисного события на главное событие, а также нахождение количественных изменений вероятности наступления опасной ситуации в виде отравления работников сельского хозяйства ядовитыми химическими веществами до и после внедрения определенных профилактических мер.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ причин несчастных случаев с точки зрения логики их зарождения и наступления показывает, что в их становлении участвует комплекс случайных первичных (базисных) событий, от набора и комбинации которых зависит характер развития той или иной опасной ситуации.

Сущность комбинации случайных первичных (базисных) событий заключается в их логическом сочетании и (или) пересечении, что в определенной мере влияет на дальнейшие процессы прохождения аварийных и опасных ситуаций вплоть до наступления нежелательного события.

Для выявления и анализа этих связей используют различные методы моделирования, наибольшее распространение среди которых

имеют логические графические методы исследования случайных событий, в частности метод «дерева отказов».

Анализируя «дерево отказов», мы выясняем комбинации отказов машин и оборудования, ошибок персонала и природных явлений, которые приводят к наступлению нежелательного события. Поэтому этот метод активно используется для анализа возможных причин возникновения аварийных и травмоопасных ситуаций, а также расчета их вероятности [18, 19].

В вершине «дерева отказов» всегда лежит верхнее нежелательное событие. Построение «дерева отказов» происходит вниз от верхнего нежелательного события, учитывая все события, которые его порождают, и заканчивается первичными (базисными) событиями, причины существования которых не исследуются, а их количественные показатели берутся из соответствующих баз статистических данных. Таким образом, реализация верхнего нежелательного события возможна в ситуации, которая является результатом логического взаимодействия первичных (базисных) событий.

Взаимосвязь событий устанавливается с помощью логических связей – «И» и «ИЛИ». Сами события также имеют свои собственные обозначения, для чего часто используются заглавные буквы латинского алфавита.

Логическая связь «И» означает, что событие на выходе наступит лишь при условии осуществления (реализации) всех событий на входе.

Логическая связь «ИЛИ» означает, что событие на выходе наступит при условии осуществления (реализации) хотя бы одного события на входе.

Этот метод позволяет качественно и количественно учитывать разнообразные опасные производственные факторы, которые касаются надлежащего функционирования службы охраны труда на предприятии в целом, надежности применяемого оборудования и механизмов, состояния производственной окружающей среды и психофизиологических свойств работников.

В качестве наглядного примера применения вышеупомянутого метода было избрано одну из наиболее типичных опасных произ-

водственных ситуаций, в которые могут попасть сельхозработники – острое профессиональное заболевание (отравление) при использовании химических веществ, логическая модель возникновения которой представлена на рис. 1.

Такой вид опасной производственной ситуации может кметь место при приготовлении работниками различных растворов пестицидов, гербицидов, инсектицидов, фунгицидов, минеральных удобрений, их хранении, транспортировки и внесении в почву без надлежащих мер и средств защиты.

Для аналитического исследования упомянутой логико-имитационной модели и вероятностной оценки риска острого профессионального заболевания (отравления) работников в случае обращения с химическими веществами была применена компьютерная программа *SAPHIRE* [16].

В основании возникновения верхнего нежелательного события *OTR* – острое профессиональное отравление работников при обращении с химическими веществами лежит взаимодействие двух блоков системообразующих факторов – природно-технологического *ST* (наличие вредных химических веществ или их паров в рабочей зоне) и – человеческого *EFGN* (проведение работ без необходимых средств индивидуальной защиты или неправильный их выбор,

или использование в неисправном техническом состоянии).

В свою очередь, блок природно-технологических факторов состоит из определенной необходимости использования опасных ядовитых веществ в процессе производства, а именно – для приготовления различных химических растворов *S* и (или) для внесения их в почву, опрыскивание или обработка ими насаждений, посевов, обезвреживание вредителей и тому подобное *T*.

С другой стороны, в процессе формирования и развития данной опасной производственной ситуации принимает непосредственное участие человек-оператор (механизатор) из-за возможного проведения работ без необходимых средств индивидуальной защиты или неправильного их выбора, или использование их в неисправном состоянии *EFGN*.

Количественные значения вероятностей первичных (базисных) событий упомянутой логико-имитационной модели прохождения опасной ситуации, которые рассчитаны на основе статистических данных о причинах производственного травматизма и профзаболеваний в АПК Украины [20], а также их смысловые обозначения представлены в табл. 1.

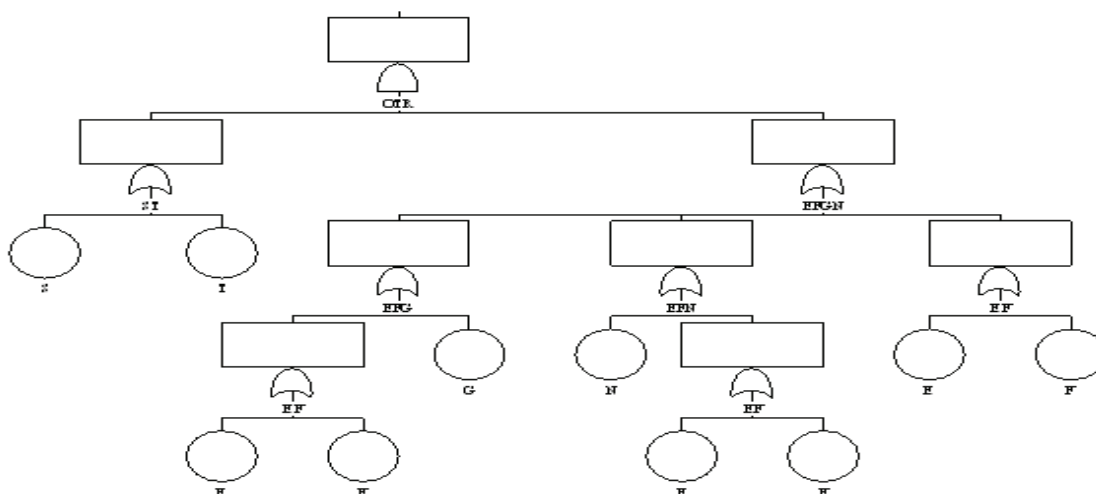


Рис. 1. Схема логико-имитационной модели опасной производственной ситуации «острое профессиональное заболевание (отравление) работников при применении химических веществ»

Fig. 1. Chart of logical simulation model of productive near-accident "acute professional disease (poisoning) of workers at application of chemicals"

**ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА РИСКА ОСТРОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ЗАБОЛЕВАНИЯ (ОТРАВЛЕНИЯ) РАБОТНИКОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ЯДОВИТЫМИ ХИМИЧЕСКИМИ ВЕЩЕСТВАМИ**

Таблица 1. Смысловое значение элементов логико-имитационной модели опасной ситуации

Table 1. Semantic value of elements of logical simulation model of near-accident

Символ элементов (базисных событий)	Краткое описание элементов (базисных событий)	Количественное значение вероятности базисных событий
E	Фактическое отсутствие службы охраны труда на предприятии	0,25
F	Неудовлетворительная деятельность службы охраны труда (не проводятся должным образом обучение и соответствующие инструктажи по вопросам охраны труда, не контролируется техническое состояние средств индивидуальной защиты, не контролируется профессиональная пригодность и состояние здоровья работников во время принятия на работу и в процессе работы и т.п.)	0,5
EF	Неудовлетворительный контроль за состоянием охраны труда на предприятии	
G	Нехватка профессионально подготовленных трудовых ресурсов на рынке труда, способных качественно выполнять работы с применением опасных химических веществ (низкая квалификация работников)	0,3
EFG	Неправильный выбор работниками соответствующих средств индивидуальной защиты	
N	Недостаточность (ограниченность) финансирования на обновление материально-технической базы предприятия	0,2
EFN	Нехватка на предприятии надлежащего количества средств индивидуальной защиты	
EFGN	Проведение работ без необходимых средств индивидуальной защиты или неправильный их выбор или использование в неисправном техническом состоянии	
S	Приготовление разнообразных химических растворов	0,2
T	Внесение химических средств, опрыскивание или обработка ими насаждений, посевов, обезвреживание вредителей и т.п.	0,15
ST	Наличие вредных химических веществ или их паров в рабочей зоне	
OTR	Острое профессиональное заболевание (отравление) работников при обращении с химическими веществами	$3,637 \cdot 10^{-1}$

В основании данного блока человеческих факторов лежат несколько групп событий: неудовлетворительный контроль за состоянием охраны труда на предприятии EF, не-

правильный выбор работниками соответствующих средств индивидуальной защиты *EFG*, отсутствие на предприятии надлежащего количества средств индивидуальной защиты *EFN*.

В свою очередь, упомянутые группы событий являются следствием комбинирования определенных базисных событий: фактическое отсутствие службы охраны труда на предприятии *E*, неудовлетворительная деятельность службы охраны труда (не проводятся должным образом обучение и соответствующие инструктажи по вопросам охраны труда, не контролируется техническое состояние средств индивидуальной защиты, не контролируется профессиональная пригодность и состояние здоровья работников во время принятия их на работу и в процессе работы) *F*, нехватка профессионально

подготовленных трудовых ресурсов на рынке труда, способных качественно выполнять работы с применением опасных химических веществ (низкая квалификация работников) *G*, недостаточность (ограниченность) финансирования на обновление материально-технической базы предприятия *N*, в связи с чем не закупается вовремя необходимое количество надлежащих средств индивидуальной защиты.

В результате исследования данной логико-имитационной модели прохождения опасной ситуации (рис. 1) были получены минимальные сечения и определены относительные значимости элементов модели по критерию Фусела-Весели и абсолютные значимости элементов модели по критерию Бирнбаума, которые представлены в табл. 2-4 соответственно.

Таблица 2. Результаты нахождения минимальных сечений и их значений
Table 2. Results of being of minimum sections and their values

Cut, №	Cut Set, %	Total, %	Frequency	Cut Sets
1	24.50	24.50	1.000E-001	F, S
2	18.62	43.12	7.500E-002	F, T
3	14.50	57.62	6.000E-002	G, S
4	11.75	69.37	5.000E-002	E, S
5	10.20	79.57	4.500E-002	G, T
6	9.00	88.57	4.000E-002	N, S
7	8.31	96.88	3.750E-002	E, T
8	3.12	100.00	3.000E-002	N, T

Таблица 3. Результаты определения относительной значимости элементов модели по критерию Фусела-Весели

Table 3. Results of determination of relative meaningfulness of model elements on the criterion of Husela-Vesely

Event name	Name of Occ.	Probability of Failure	Fussell-Vesely Importans
S	4	2.000E-001	5.181E-001
T	4	1.500E-001	3.718E-001
F	2	5.000E-001	3.521E-001
G	2	3.000E-001	1.994E-001
E	2	2.500E-001	1.639E-001
N	2	2.000E-001	1.293E-001

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА РИСКА ОСТРОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ЗАБОЛЕВАНИЯ (ОТРАВЛЕНИЯ) РАБОТНИКОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ЯДОВИТЫМИ ХИМИЧЕСКИМИ ВЕЩЕСТВАМИ

Таблица 4. Результаты определения абсолютной значимости элементов модели по критерию Бирнбаума

Table 4. Results of determination of absolute meaningfulness of model elements on the criterion of Birnbauma

Event name	Name of Occ.	Probability of Failure	Birnbaum Importans Measure
S	4	2.000E-001	6.515E-001
T	4	1.500E-001	6.095E-001
F	2	5.000E-001	2.446E-001
G	2	3.000E-001	2.268E-001
E	2	2.500E-001	2.227E-001
N	2	2.000E-001	2.187E-001

Нахождение минимальных сечений (соединение событий, которые приводят к риску), набор которых не может быть сокращен без гарантии наступления верхнего нежелательного события, показывает, что наиболее вероятным вариантом прохождения опасной ситуации является вариант при участии событий *F* и *S*, который составляет 24,50 %. За ним разместились варианты событий *F*, *T* и *G*, *S* с вероятностями 18,62 % и 14,50 % соответственно.

Сама вероятность наступления главного события в виде острого профессионального заболевания (отравления) работников сельского хозяйства при обращении с химическими веществами при заданных значениях первичных (базисных) событий равна $P=3,637 \cdot 10^{-1}$.

Из анализа относительной значимости базисных событий по критерию Фусела-Весели вытекает, что наибольшую значимость и влияние на главное событие производит событие *S*. На 2 и 3 местах расположились события *T* и *F* соответственно (см. табл. 3).

Из анализа абсолютной значимости базисных событий по критерию Бирнбаума вытекает, что наибольшую значимость и влияние на главное событие-последствие производят также события *S* и *T* и несколько меньше *F* (см. табл. 4).

Вместе с тем, на события *S* и *T* мы влиять не можем, поскольку эти события характеризуют объективное состояние производ-

ственной среды, а именно наличие вредных химических веществ или их паров в рабочей зоне. Поэтому для уменьшения вероятности возникновения данной опасной ситуации нам следует направить свои усилия на уменьшение начальных значений других системообразующих базисных событий, в частности событий *E*, *F*, *G* и *N*.

В случае, если бы нам удалось уменьшить недостатки организационного характера в деятельности службы охраны труда на предприятии, которые заключаются в отсутствии надлежащей работы относительно создания безопасных и безвредных условий труда, необеспеченности соответствующего контроля за профессиональным уровнем и состоянием здоровья работников при принятии их на работу и в процессе работы, за проведением периодических медицинских осмотров и техническим состоянием средств индивидуальной защиты и т.п. с сегодняшних $P_E=0,25$ и $P_F=0,5$ до $P_E=0,1$ $P_F=0,15$ соответственно, то вероятность наступления главного нежелательного события составляла бы $P=2,349 \cdot 10^{-1}$.

ВЫВОД

Таким образом, применение метода «дерева отказов» для моделирования опасных ситуаций дает возможность оценить риск последних и определить наиболее оптимальные профилактические меры относительно снижения его уровня путем выбора органи-

зационных или технических мероприятий, или тех и других в их совокупности, исходя из ресурсных возможностей конкретного предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

- Gnatyuk O.A. 2012: Modelyuvannya vplivu nebezpechnik virobnychikh chinnikov na pokazniki bezpeki mashinno-traktornikh agregativ v umovakh agropromislovogo virobnitstva imovirnisnimi metodami / O.A. Gnatyuk, V.V. Begun // Tekhniko-tehnologichni aspekti rozvitku ta viprobuvannya novoi tekhniki i tekhnologiy dlya silskogo gospodarstva Ukraini: zbirnik naukovikh prats / DNU UkrNDIPVT im. L. Pogorilogo. – Doslidnitske. – Vip. 16 (30), kn. 2. – 81-96.
- Sokolova M.P. 2012: Profesiyna zakhvoryuvanist u silskomu gospodarstvi / M.P. Sokolova // Materiali XV zyzdu gigiyenistiv Ukraini 20-21 veresnya 2012 roku «Gigiyenichna nauka ta praktika: suchasni realii». – Lviv: Drukarnya LNMU im. D. Galitskogo. – 115-116.
- Voynalovich O.V. 2010: Kontsepsiya rozroblennya sistemi vidstzhennya potentsiynikh nebezpek v APK / O.V. Voynalovich, V.O. Sheremet, M.O. Zheleznyak // Naukoviy visnik Natsionalnogo universitetu bioresursiv i prirodokoristuvannya Ukraini. – K.: – Vip. 144, ch. 2. – 100-106.
- Lesenko G.G., Tsibulska O.V., Nepogodyev S.V. 2011: Do pitannya otsinki yefektivnosti funktsionuvannya sistemi upravlinnya okhoronoyu pratsi na pidpriemstvi / G.G. Lesenko, O.V. Tsibulska, S.V. Nepogodev // Problemi okhoroni pratsi v Ukraini. Zb. nauk. prats. – K.: DU «NNDIPBOP». – № 20. – 129-139.
- Novitskiy A.V., Banniy O.M. 2011: Analiz nadiynosti zasobiv dlya prigotuvannya i rozdavannya kormiv metodoi dereva vidmov / A.V. Novitskiy, O.M. Banniy // Motrol. Motoryzacija i energetyka rolnictva. Tom 13B. Lublin. – 117-124.
- Gogitashvili G.G. 2010: Otsinyuvannya profesiynogo riziku v galuzyakh silskogospodarskogo virobnitstva Ukraini / G.G. Gogitashvili, V.F. Kaminskiy, V.M. Lapin ta in. // Visnik agrarnoi nauki. – № 8. – 53-55.
- Dubrovin V.O. 2010: Profesiyniy rizik na mekhanizovanikh protsesakh v APK ta napryami yogo znizhennya / V.O. Dubrovin, O.V. Voynalovich, O.A. Gnatyuk ta in. // Naukoviy visnik Natsionalnogo universitetu bioresursiv i prirodokoristuvannya Ukraini. Seriya «Tekhnika i yenergetika APK». – K. – Vip. 144, ch. 5. – 13 – 19.
- Lekhman S.D. 2001: Sistema upravlinnya profesiynim rizikom na silskogospodarskomu pidpriemstvi / S.D. Lekhman // Zbirnik naukovikh prats 3-i Mizhnarodnoi naukovotekhnichnoi konferentsii «Motorizatsiya i yenergetika rilnitstva». – Lyublin (Polshcha). – 9-12.
- Wojnalowicz A.W., Capko W.G. 2010: Ocena ryzyka zawodowego w branżach rolniczych Urrainy / A.W. Wojnalowicz, W.G. Capko // Ocena ryzyka zawodowego w rolnictwie. Praca zbiorowa pod redakcja Agnieszki Buczaj, Leszka Soleckiego. – Lublin, Instytut medycyny wsi. – 239-246.
- Berezutskiy V.V., Bissiuni Radvan Arafa. 2012: Rizik pri vikonanni nebezpechnik robit u truboprokatnomu tsekhu / V.V. Berezutskiy, Radvan Arafa Bissiuni // Problemi okhoroni pratsi v Ukraini. Zb. nauk. prats. – K.: DU «NNDIPBOP». – № 23. – 122-129.
- Gnatyuk O.A. 2007: Porivnyalniy analiz profesiynogo riziku mekhanizatoriv APK za metodom «dereva vidmov» // Mizhvidomchiiy tematichniy naukoviy zbirnik: «Mekhanizatsiya ta yelektrifikatsiya silskogo gospodarstva». – Vip. 91. – Glevakha. – 276-284.
- Voynalovich O.V. 2011: Metodi otsinennya virobnychogo riziku na mekhanizovanikh robotakh u silskomu gospodarstvi / O.V. Voynalovich, M.M. Motrich, V.C. Kirdan // Visnik Kharkivskogo natsionalnogo tekhnichnogo universitetu silskogo gospodarstva im. P. Vasilenka. – Vipusk 107. – T. 2. – 257-263.
- Voynalovich O.V. 2012: Analiz prichin travmuvannya pratsivnikiv APK na mekhanizovanikh ta transportnikh robotakh / O.V. Voynalovich, I.M. Podobed, M.M. Motrich ta in. // Problemi okhoroni pratsi v Ukraini. Zbirnik naukovikh prats. – Vipusk 24. – 38-49.

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА РИСКА ОСТРОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО
ЗАБОЛЕВАНИЯ (ОТРАВЛЕНИЯ) РАБОТНИКОВ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
ПРИ ОБРАЩЕНИИ С ЯДОВИТЫМИ ХИМИЧЕСКИМИ ВЕЩЕСТВАМИ

14. Masyukevich O.M. 2011: Metodologiya analizu ta otsinki profesiynogo riziku zalezno vid prichin yogo viniknennya / O.M. Masyukevich // Problemi okhoroni pratsi v Ukraini. Zb. nauk. prats. – K.: DU «NNDIPBOR». – № 21. – 10-16.
15. Gnatyuk O.A. 2012: Zastosuvannya imovirnisnikh metodiv modelyuvannya dlya viznachennya yefektivnosti profilaktichnikh zakhodiv z poperedzhennya vipadkiv virobничого travmatizmu v agropromislovomu kompleksi Ukraini / O.A. Gnatyuk, V.V. Begun, T.O. Bilko // Zb. nauk. prats Vinnitskogo natsionalnogo agrarnogo universitetu. Seriya «Tekhnichni nauki». – Vinnitsya. – Vip. 11. T.2 (66). – 376-383.
16. Begun V.V. 2000: Veroyatnostnyy analiz bezopasnosti atomnykh stantsiy (VAB) / V.V. Begun, O.V. Gorbunov, I.N. Kadenko / K.: MON Ukrainy. – 568.
17. Lysyuk C.D. Raschet veroyatnosti otravleniya khlorgazom s ispolzovaniyem koda IRRAS // Problemi okhoroni pratsi v Ukraini. – K.: NNDIOP, 2005. – S.46-55.
18. Aleksandrov A.B., Martynyuk V.F., Fomin S.L., Fomina Ye.E. 2002: Ispolzovaniye metoda dereva otkazov dlya analiza neschastnykh sluchayev // Bezopasnost zhiznedeyatelnosti. – № 9. – 6-11.
19. Belov P.G. 1997: Teoreticheskiye osnovy sistemnoy inzhenerii bezopasnosti. – K.: KMU GA. – 426.
20. Sistematizovani: Sistematizovani statistichni zviti Ukrainskogo naukovu-virobnichogo inzhenerного tsentru z okhoroni pratsi v silskomu gospodarstvi (UNVITsOP «Ukrsilgospokhoronpratsi») z analizu virobничого travmatizmu na pidpriemstvakh usikh form vlasnosti agropromislovogo kompleksu Ukraini.
- ous chemicals in a technological process, is conducted. The most meaningful productive factors, influencing on the origin of the near-accident, related to possibility of poisoning of workers applying these substances, are certain.

Key words: probabilistic estimation of risk, poisonous chemicals, productive factors, near-accident, acute professional disease (poisoning).

**PROBABILISTIC ESTIMATION OF RISK
OF ACUTE PROFESSIONAL DISEASE
(POISONING) OF WORKERS
OF AGRICULTURE AT HANDLING
POISONOUS CHEMICALS**

Summary. The probabilistic estimation of risk of the sharp professional disease (poisoning) of workers of agriculture, using different poison-

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ В ДЕТАЛЯХ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ГОЛОГРАФИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сергей Карабинеш

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15

Sergey Karabinyosh

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. В статье приведены теоретические и методические основы определения величин микродеформации и напряжений в деформируемых телах при исследовании состояния поверхности деталей сельскохозяйственной техники голографическими методами.

Ключевые слова: микродеформация, напряжение, деформируемое тело, поверхность, нагрузка, голограмма, сельскохозяйственная техника.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Во время эксплуатации сельскохозяйственная техника испытывает действия внешних и внутренних разнообразных нагрузок, которые служат причиной интенсивных износов рабочих поверхностей, усталости материалов, повреждению контактных поверхностей и т.д. [1, 3, 8, 11].

Особенно становится опасной ситуация, когда силовая нагрузка сопровождается совместным действием повышенных температур, асимметричного цикла нагружения и изменения режима смазки.

В большинстве случаев разрушение деталей начинается из поверхностных слоев и определяется их стойкостью к изнашиванию, а также величиной контактной нагрузки в рабочих зонах [1, 2, 8].

Все существующие мероприятия повышения надежности сельскохозяйственных машин оказываются неэффективными и несовершенными, если контроль качества изготовления и ремонта изделий будет организован не должным образом.

Наличие в деталях поверхностных и скрытых дефектов, повреждений, которые проявляют себя в виде внутренних отсло-

ений металла, межкристаллических и внешних трещин, искривлений кристаллических решеток, неметаллических включений, пор, свищей и т.д. приводит к потере работоспособности машины [6, 10].

Несвоевременная замена таких изделий с дефектными поверхностями безусловно приведет к появлению в эксплуатации условно исправной машины.

Вероятность выхода из строя таких машин представляет 50 % и зависит от времени, когда при „благоприятных условиях” (чрезмерная нагрузка, недостаточная смазка, нарушение правил эксплуатации и т. д.) обнаруженный дефект или повреждение разрушит деталь и выведет машину из строя.

Острой проблемой является рациональное использование отечественных материалов, производство которых налаживается предприятиями сельскохозяйственного машиностроения нашей страны.

Неправомерное использование материалов без научных обоснований и предварительных расчетов на прочность и усталость вызывает преждевременные отказы, потерю работоспособности и низкую надежность техники.

Особенно важным является задание: оценить остаточный ресурс изделия, определить величины параметров допустимого или предельного его состояний, установить значение внутренних и остаточных напряжений, нахождение и регистрация изменения технического состояния изделия под действием установленных нагрузок [3, 5, 7].

При этом создаются условия к изучению напряженного состояния деталей, установления местонахождения и величины концентраторов напряжений и тем самым прогнозирования остаточного ресурса машин.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

В основу исследования напряженного состояния рабочих поверхностей деталей положены разработанные учеными Мюнхенского центра прикладной оптики (Германия), Гентского университета (Бельгия), Международного центра „Институт прикладной оптики” (Украина) при непосредственном участии автора. Анализ литературы [10, 11, 12, 19, 21] показал, что исследования процессов проходящих с разрушением поверхностей – предельное состояние, необходимо проводить в комплексном сочетании двух видов оптической интерферометрии (компьютерной голографии и двоимпульсной). Это связано с особенными возможностями применения каждого из отмеченных видов контроля для конкретного вида исследований. Компьютерная голография (основной вид проведенных поисковых работ) дает возможность регистрировать изменение поверхности при малых, не предельных нагрузках, которые проходят с небольшими скоростями изменения состояния поверхности. Образ деформированного тела, представленного в виде цветных интерференционных полей, фиксируют в памяти компьютера [8, 12, 17, 20]. При втором случае голографии, объект фиксируется в трехмерном изображенные на пленку или стеклянную фотографическую пластину вместе с интерференционными линиями [12, 19, 20, 21]. Применяют ее для исследования скоростных динамических процессов, порою связанных с разрушением поверхности или всей детали.

В основу принципа работы каждого из видов голографии положено метод двойной экспозиции [12, 14, 20], когда тело наблюдают до и после приложения нагрузки. При этом, измеряют изменения состояния поверхности детали путем сравнения каждого её участка с измененным ее состоянием [12, 20, 21]. Дефект или повреждение детали проявляется в местном аномальном размещении интерференционных полос. В случае компьютерной голографии - это цветные полосы (каждому цвету отвечает определенная величина деформации), в другом случае - это черные и белые полосы. В общем случае при голографировании, рекомендуют применять

такие виды нагрузки: механическое (растяжение, сжатие, скручивание, изгиб или их комплексное и совместное сочетание, термическое локальное (терморadiационное) или общее, акустическое возбуждение, нагружение давлением или вакуумом, а также для разрушения образцов нагрузки ударом. Их использование рекомендовано специальной литературой [12, 14, 19, 20].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью исследований является установление целесообразности применения голографических методов для определения параметров технического состояния рабочих поверхностей деталей, узлов, агрегатов и сельскохозяйственных машин, выявления скрытых дефектов, повреждений, изучения напряженно-деформационного состояния и связанных с этим возможностей повышения надежности сельскохозяйственной техники.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Установлен метод записи и восстановления голограмм созданных при двойной экспозиции. На них представлены детали совместно с интерференционными полосами – изохорами. Все точки на такой полосе имеют одинаковую величину деформации и направление в пространстве. При восстановлении голограмму необходимо освещать под тем же углом, что она была зафиксирована в момент опыта. Экспериментальные работы проводили с использованием разных по своим геометрическим параметрам образцами и деталями: плоские, объемные, сложной конфигурации и простые, изготовленные с разнообразными по своим физико-механическими свойствам: металлические, пластиковые, металлокерамические, углепластиковые, деревянные, бетонные, с покрытиями и без них и т.д. При этом учитывались такие материалы, которые чаще всего и больше всего используются при изготовлении и ремонте сельскохозяйственных машин. Установлены два метода испытаний с записью интерференционных полей: при полном разрушению изделия (предельные условия) и без *разрушения* с промежуточными этапами нагрузки (допустимые условия).

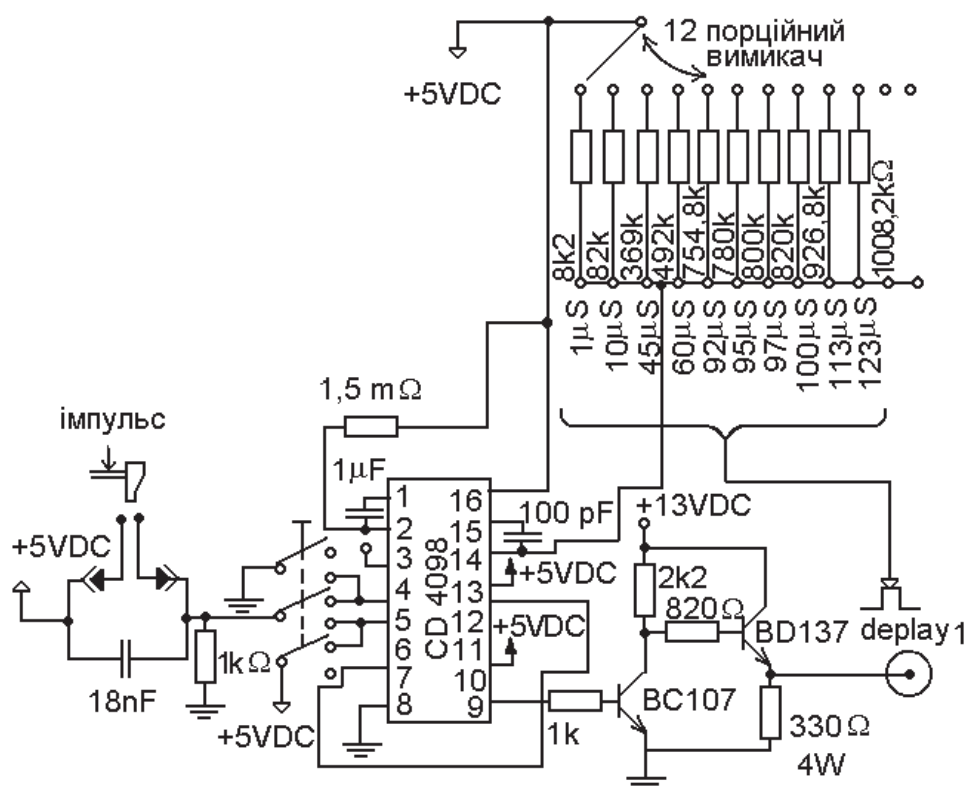


Рис. 1. Схема прибора для запуска лазера в установленные промежутки времени - „Trigger-system”

Fig. 1. Chart of device for the start of laser in the set intervals of time - "Trigger-system"

Для проведения исследований как материал образца использован полиэтилен низкого давления (представитель широкой номенклатуры деталей сельскохозяйственных машин), например труб: диаметр - 120 мм, толщина стенки - 10 мм, давление рабочей зоны – 0,3-0,4 МПа, температура изделия в момент проведения опыта составляла - 0°C. В зону инициирования закачивали охлажденный воздух. Разрушение инициировали копром-маятником. Для запуска лазера использовали блок-прибор „Trigger-system”, схема которого на рис. 1.

При чем, на расстоянии 100 мм от зоны инициирования устанавливали выключатель, который подсоединяли непосредственно перед началом эксперимента к блок-прибору „Trigger-system”. Выключатель являет собой серебряную проволоку натянутую между двумя электродами в зоне предсказуемого разрушения детали. При разрушении детали и развитии трещины вдоль ее со скоростью

500-560 м/с, проволоку разрывало и срабатывал замедлитель в блок - приборе настроен на определенное время задержки. Потом включался лазер и проводилась двойная фиксация разрушаемой детали. Интервал между двумя вспышками лазера был постоянным и составлял 20 нс.

Во время проведения опыта два волновых поля регистрировали последовательно в одной и той же голограмме - метод двух экспозиций или „замороженных полос”. Применяли импульсный рубиновый лазер HLS - 2 с длиной волны 694 мкм, а запись голограмм проводили на пленке AGFA чувствительной к красному свету.

Сущность метода интерпретации экспериментальных данных, которые были получены с помощью голографирования поверхностей деталей, заключается в определении трех составляющих вектора микродеформации с учетом их вероятностной природы распределения на поверхности изделия. Ве-

личины напряжений в каждой точке поверхности детали характеризуют ее техническое состояние и дают возможность установить её меру пригодности к дальнейшей эксплуатации. Тем самым, появляется возможность прогнозирования как доремонтного, так и межремонтного ресурса.

Следует заметить, что в первую очередь определяли статистические характеристики распределения микродеформирования на рабочих поверхностях деталей или образцов в момент разрыва ювенальных связей и выявления причин появления межкристаллических дефектов - трещин и несплошностей, которые всегда сопровождают разрушение деталей сельскохозяйственной техники.

Следующим этапом проведения работ было исследование с помощью голографии напряженных состояний разных деталей или образцов без их разрушения. Для записи голограмм использовали метод двойной экспозиции с фиксацией двух последовательных состояний изделия на одной голограмме. Исследования проводили на стальных, алюминиевых, пластиковых, металлополимерных образцах или реальных деталях без фиксации и установления величины нагрузки. Детали механически обрабатывали для создания поверхностей, с необходимой для голографирования шероховатостью. При такой величине шероховатости поверхностных слоев Rz 80, Rz 120, Rz 320, зеркальное отражение значительно малое и свет рассеивался практически равномерно во всех направлениях. Подобная ситуация типична для механически обработанных поверхностей сельскохозяйственных машин деталей. В этом и заключается основное достоинство голографического неразрушающего контроля сельскохозяйственной техники - каждый её элемент может быть – проверенным.

Примеры нагружения деталей приведены на рис. 2. Включали лазер в работу не в произвольно выбранные моменты времени, а в точно определенные для каждой партии исследованных объектов. Нагрузки проводили дискретно, устанавливая грузы (50, 100, 200 и т. д для металлических изделий и 5, 10, 20 Н для неметаллических) последовательно икратно повторяя нагрузку до появления четкой интерференционной картины.

В табл. 1 приведенные диапазоны нагрузок, при которых происходит процесс появления интерференционных полос, зависящий от налаживания оптической системы и возможностей компьютерного обеспечения. Приведенные диапазоны нагрузок охватывают области допустимых значений нагрузок. Для определения напряжений в предельных условиях нагрузки проводили следующим образом: сначала расчетный - аналитическим путем для выбранного материала и геометрических характеристик материала по зависимостям:

$$а) [\sigma_p] \leq \sigma_p \quad (2)$$

$$б) [\sigma_{32}] \leq \sigma_{32} \frac{M_{max}}{W_y}, \quad (3)$$

$$в) [\tau_{кр}] \leq \tau_{кр} \frac{M_{к}}{W_p}, \quad (4)$$

где: $[\sigma_p]$; $[\sigma_{32}]$; $[\tau_{кр}]$ - допустимые напряжения розтяжение, изгиб и кручение, Па; σ_p ; σ_{32} ; $\tau_{кр}$; - действительные напряжения на розтяжение, изгиб и кручение, Па; S – площадь сечения исследуемого объекта, м²; W_y – осевый момент сопротивления, Н/м²; W_p – полярный момент сопротивления, Н/м², рлтлм их значения проверяли в реальных условиях.

Формулы применяли при расчете напряжений : а) - при сжатии, розтяжении; б) - изгибе; в) – кручении. Результаты расчетов проверяли экспериментально, что дало возможность уточнить параметры режима голографирования. Как недостаток, приведенных выше методов, следует заметить, что опыты производятся в четко фиксированные дискретные моменты времени. Это не дает возможности исследовать интегральную картину изменения поля микродеформирования поверхности изделия во времени при изменении величины или характера нагрузки.

Недостатки метода неразрушающего контроля голографией, которые не уменьшают возможности ее применения. К ним относят: все виды работ должны выполняться только в затемненном помещении, габаритные размеры деталей ограничены действительными размерами пленки или фотопластинок; изделия необходимо красить до создания матовой поверхности (белой или серебряной краской), нужно применять защитные экраны и не существует возможности наблюдать за изделиями во время опыта в реальном времени.

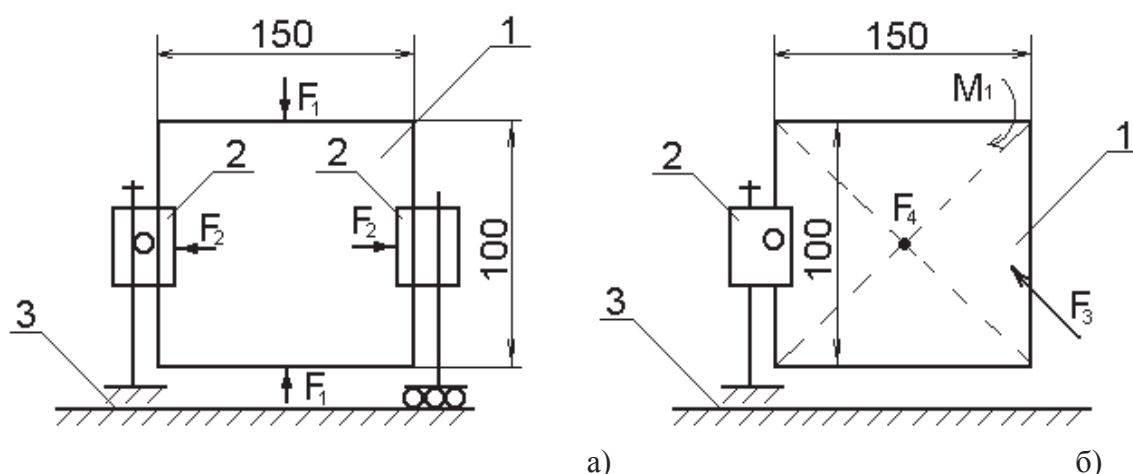


Рис. 2. Схема нагрузки образца а) F_1 – сжатие; F_2 – растяжение; б) F_3 – изгиб; M_1 – кручение; F_4 – термическое: 1 – образец; 2 – кронштейн зажим; 3 – рабочий стол.
Fig. 2. Chart of loading of standard of а) F_1 is compression; F_2 is tension; б) F_3 is bend; M_1 is twisting; F_4 – thermal: 1 is a standard; 2 is a bracket clamp; 3 is a workmount

Таблица 1. Механическая нагрузка при исследовании реальных деталей
Table 1. Mechanical loading at research of the real details

Наименование детали, материал	Вид механической нагрузки			
	Растяжение $F, Н$	Сжатие $F, Н$	Изгиб $F, Н$	Скручивание $M, Нм$
Блок цилиндров двигателя внутреннего сгорания (ДВЗ)	-	400 - 500 (нагрузка приложена к перемичке между 2-м и 3-м цилиндром)	-	40 - 60 (нагрузка приложена к передней стенке около 1-го цилиндра)
Поршневой палец ДВЗ Сталь Х13	800-900	-	750-900	80 - 100
Поршень из алюминия АЛ-19	500-620	850 - 1100	-	-
Кран молочный- Сталь Х13Н9ТА	-	780 - 900	600-680	40 - 60
Кришка-полиамид ПА- 69	-	150 - 200	18 -22	-
Переходник соединитель - углепластик	25 - 27	30 -34	18 -20	-
Втулка переходная металлополимер	-	65 - 70	45 - 52	-

Следует заметить, что некоторые Приведены выше недостатки частично снижают эффективность от реализации спекл-интерферометрии - двоимпульсной голографии, но не устраняют ее полностью из гаммы современных методов неразрушающего контроля. При определенных условиях, правильно выбранной номенклатуре деталей, условиях опыта, а также комплексном сочетании с другими методами, например; компьютерной голографией, акустического, рентгенографического методов, возможно получить результаты, которые с высокой мерой точности отвечают реальным процессам, а полученные математические модели адекватно описывают физические явления, которые проходят в деталях сельскохозяйственной техники.

ВЫВОДЫ

Как было указано выше, голография, как метод контроля, решает целую гамму разнообразных проблем и позволяет значительно повысить уровень надежности сельскохозяйственной техники. Средства этого метода могут эффективно использоваться при реализации:

- конструктивного метода повышения надежности, при определении геометрических характеристик и параметров конструируемого объекта, его вероятностных прочностных свойств, допустимых пределов применения новых материалов, исследовании как отдельных элементов да и деталей, узлов и агрегатов в целом;

- технологического метода (определении параметров технологических процессов обработки и упрочнения поверхностей) выявления наличия дефектов, которые могут возникать при нарушении технологий изготовления деталей;

- ремонтного метода – выбора рационального (оптимального) метода или способа восстановления работоспособности деталей, их рабочих поверхностей, использования ремонтных материалов, определении основных и остаточных напряжений, которые возникают в процессе выполнения ремонтно – обслуживающих работ(

- эксплуатационного метода – правильности выбора режимов нагрузки машины, теплового режима работы машин, прогнозируемых сроков и объемов проведения технического обслуживания и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Belokur I.P., Batyuk I.M., Zhdanov I.M. 1980: Kontrol tekhnicheskogo sostoyaniya svarnykh konstruksiy. – K.: Znaniye. –24.
2. Boyko A.I., Karabinosh S.S., Novitskiy A.V., Sivolapov V.A. 2003: Zabezpechennya nadiynosti silskogospodarskikh mashin tekhnologichnimi metodami: Visnik KhDTUSG. – Kharkiv. – Vipusk 17. – 47-53.
3. Boyko A.I., Karabinosh S.S., Novitskiy A.V. 2004: Pidvishchennya nadiynosti silskogospodarskoi tekhniki shlyakhom zastosuvannya komp'yuternoi golografii: Zvit pro NDR (zaklyuchniy) / Natsionalniy agrarniy universitet; № DR 0101 U 003210; Inv. № 0205U002853. – K.: – 158.
4. Vosstanovleniye 2003: Vosstanovleniye detaley mashin: Spravochnik/ Panteleyenkov F.I., Lyalyakin V.P., Ivanov V.P., V.M. Konstantinov V.M./ – M.: Mashinostroyeniye. – 672.
5. Delone N.B.1989: Vzaimodeystviye lazernogo izlucheniya s veshchestvom. – M.: Nauka. – 280.
6. Dmitriyev N.N. 1998: Teoreticheskiye osnovy nerazrushayushchego kontrolya i diagnostiki sostoyaniya aerodromnykh pokrytiy teplovyim metodom: Dis... kand. tekhn. nauk: 05. 22. 11. – K.: – 296.
7. Gurey I., Pashchenko M., Gurey T. 1999: Vpliv termotsiklichnoi obrobki na napruzheniy stan metalevikh zyednan, utvorenikh kontaktim navantazhennyam. Zb. nauk. pr. KDTU – Kirovograd.: Konstruyuvannya, virobnitstvo ta yekspluatatsiya silskogospodarskikh mashin. – 72 - 76.
8. Molodik M. V., Karabinosh S.S., Molodik L.P. 2006: Priskoreni porivnyalni viprobuvannya vidnovlenikh detaley, v t. ch. rozroblennya nastanov. Zvit NDR, dogovir № 85 s/54 vid 01.07.05, u 2 tomakh. – Glevakha. – 96.

9. Nerazrushayushchiy 2005: Nerazrushayushchiy kontrol i diagnostika: Spravochnik./ Klyuyev V.V., Sosnin F.R., Kovalev A.V. / Pod obshch. red. V.V. Klyuyeva V.V. – M.: Mashinostroyeniye. – 656.
10. Nadezhnost 1972: Nadezhnost i dolgovechnost mashin i oborudovaniya. /Pod red. A.S. Pronikova – M.: Standart. – 406.
11. Nerazrushayushchiy 1986: Nerazrushayushchiy kontrol kachestva svarnykh konstruksiy. / T.A. Troitskiy, V.P. Radko, V.G. Demidko, V.G. Bobrov / – K: Tekhnika.–159.
12. Nerazrushayushchiy 1983: Nerazrushayushchiy kontrol relsov pri ikh ekspluatatsii i remonte. / Pod red. A.K. Gurvicha. – M.: Naukova dumka. – 318.
13. Pustevit V.N. 1992: Diagnostirovaniye i prognozirovaniye ostatochnogo resursa svarnykh metallokonstruksiy i detaley mashin: Dis. kand. tekhn. nauk: 01. 02. 06; 05. 02. 02 – Odessa. – 467.
14. Zatsepin N.N., Lukhovich A.A., Melduy M.A. 1979: Fizicheskiye metody nerazrushayushchego kontrolya. – Minsk: Nauka i tekhnika. – 88.
15. Skoblo T.S., Malakhov A.V. 1997: Issledovaniye nekotorykh parametrov defektov mikrostruktury stali s pomoshchyu ultrazvuka. Sb. nauch. tr. KhGTUSKh. – Kharkov. – 123 - 126.
16. Skovorodin V.Ya., Tishkin I.V. 1985: Spravochnaya kniga po nadezhnosti selskokhozyaystvennoy tekhniki. – L.: Lenizdat. – 204.
17. Shchadil Ya.S. 1999: Otsinka trishchinnostivnosti naybilsh navantazhenikh detaley vuzliv pidvisnikh mashin: Dis. kand. tekhn. nauk: 05. 20. 03 – Ternopil. – 125.
18. Birch K.G., Guen F.J. 1982: The application of computer - Holograms to Testing Optical Elements. J. Phys., D.: Appl. Phys., №5, – 250.
19. Karabinesh S.S. 2001: Non-distractive control glue-weed joining by computer holography// 111 International Research And Technical Conference (MOTROL). – Lublin: Agriculture University. – Volume 4. – 144-147
20. Karabinesh S.S. 2012: Structurally- technological methods providing of reliability of agricultural technique by computer holography. /S.Karabinesh// MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. Lublin. T.14 – №3.– 112-119.
21. Karabinesh S.S., Boyko A.I., Morgun A.V. 2003: Kompyuternaya golografiya kak metod obespecheniya nadezhnosti selskokhozyaystvennoy tekhniki. – Varshava, Melitopol: MOTROL, Kh-y Mezhdunarodnyy simpozium, „Ekologicheskiye aspekty mekhanizatsii rasteniyevodstva”. – 28-33.

**METHODS OF DETERMINATION
OF TENSIONS IN PARTS DURING
REALIZATION OF HOLOGRAPHIC
METHODS**

Summary. There are theoretical and methodical bases over of determination of sizes of microstrain and tensions are brought in the deformed bodies at research of the state of surface of details of agricultural technique by holographic methods in the article.

Key words: microstrain, tension, deformed body, surface, loading, hologram, agricultural technique

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА В СВАРНОМ СОЕДИНЕНИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ

Валерий Макаренко, Константин Муравьев, Танзания Евпак, Николай Каливошко

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15

Valeriy Makarenko, Konstantin Muravyov, Tanzaniya Yevpak, Nikolay Kalivoshko

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Приведены результаты исследования кинетики распределения водорода в сварном соединении в зависимости от температурных режимов.

Ключевые слова: сварка, водород, температурные режимы, холодные трещины.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Известно, что в наибольшей степени на работоспособность и надежность сварных корабельных корпусов из низколегированных сталей обычной и повышенной прочности, особенно при эксплуатации в условиях низких температур воздуха (до -60°C), оказывают холодные трещины, образующиеся, как правило, в околошовной зоне сварных соединений (ОШЗ). При этом наиболее опасным местом, с точки зрения зарождения холодных трещин, является корневой шов.

При сварке указанных сталей вероятность образования холодных трещин появляется, если скорость охлаждения $W_{500}^{600} \geq 12 - 13^{\circ}\text{C} / \text{с}$ [1,2], что характерно для ручной сварки покрытыми электродами в условиях низких температур воздуха. При этом холодные трещины наблюдаются, несмотря на отсутствие закалочных структур, в сварных соединениях.

Аварии и остановки корабельного транспорта по причине низкой трещиностойкости сварных соединений приводят не только к потере транспортируемого продукта, но и требуют зачастую крупных материальных и финансовых затрат на ремонтно-восстановительные работы. Увеличение типоразмеров плавсредств, удлинение трассы их маршрута приводят к росту продолжительности ликвидации аварий. Разрушение танкеров часто сопровождается пожарами и

взрывами, загрязнениями окружающей среды, что оказывает губительное воздействие на животный и растительный мир. Все это свидетельствует о крайней актуальности повышения качества и надежности морских и речных судов.

Из анализа литературных данных и результатов собственных исследований следует, что основной причиной низкой трещиностойкости сварных соединений судостроительных корпусных сталей из низколегированных сталей, эксплуатируемых в условиях низких температур окружающей атмосферы (до -60°C), является высокое содержание водорода в наплавленном металле и околошовной зоне. Вопросы активности подвижного водорода и его распределения в разных зонах сварного соединения при воздействии на него минусовых температур изучены недостаточно и получены на различных сварочных и корпусных материалах с использованием разных методов и критериев оценки, поэтому они трудно сопоставимы, порой противоречивы и не всегда подвержены логическому анализу и сравнению. Поэтому требуется проведение дополнительных экспериментов для изучения влияния отрицательных температур на процесс диффузии и перераспределения водорода с течением времени в сварных соединениях монтажных стыков корабельных корпусных конструкций. Учитывая, что экспериментальные методы не позволяют измерить концентрацию водорода в различных зонах сварного соединения, то требуется применение экспериментально-аналитических методов расчета и оценки кинетики диффузии водорода из сварного шва в зону термического влияния (ЗТВ) и его перераспределения с течением времени.

Высказываются различные точки зрения на механизм водородной хрупкости стали и сварных соединений. Однако сам факт, что водород, попадая в металл шва и ЗТВ, вызывает временную хрупкость его и иногда весьма значительную, приводящую к образованию трещин, является общепризнанным.

На основании изложенного, основным способом уменьшения водородной хрупкости является снижение уровня диффузионно-подвижного водорода в металле шва различными конструкторско-технологическими способами.

Другим способом уменьшения водородной хрупкости является снижение скорости охлаждения, которое позволяет получить более пластичный и менее склонный к водородной хрупкости металл шва и ЗТВ, а также усиливает эффект удаления водорода из металла в процессе охлаждения.

Третьим способом является повышение температуры сопутствующего подогрева. Так, повышение температуры до 100 – 200 °С существенно снижает водородную хрупкость, вызываемую диффузионным и молекулярным водородом.

Четвертым способом является проведение термической обработки – “отдыха” – сварных соединений корпусных сталей непосредственно после сварки при повышенной температуре, в процессе которого удаляется диффузионный водород.

Для реализации этих способов на практике необходимо проведение дополнительных экспериментов для изучения поведения водорода в сварных соединениях применительно к конкретным температурным режимам, материалам и технологическим процессам монтажной сварки.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

О влиянии отрицательных температур воздуха при сварке корпусных судостроительных сталей на увеличение количества образовавшихся трещин и пор известно из литературы и практики [1,2,4,5,12,13]. Вероятность образования трещин при этом повышается в связи с увеличением

остаточных напряжений и количества растворенного в металле водорода.

Повышение стойкости сварных соединений к образованию холодных трещин, вызывающих замедленное разрушение при сварке в условиях низких температур, определяется не только снижением количества неравновесных структур, но и повышением скорости диффузии водорода [14-24].

Анализ данных, приведенных в литературе [7-9,12,13], свидетельствует, что основными причинами разрушения корпусов плавсредств являются дефекты сварных соединений, влияние низких температур окружающего воздуха, водородное охрупчивание зоны термического влияния (ЗТВ) сварного соединения, а также вибрации корпуса вследствие динамических воздействий. Обобщение причин разрушений корабельных сварных стыков, выполненное в работах [12,13], позволило выделить главную из них – низкую хладостойкость судостроительных сталей и их сварных соединений в условиях отрицательных температур воздуха.

Для реализации на практике организационно-технических мероприятий повышения надежности сварных соединений корабельных корпусов и других конструкций необходимо знание закономерностей и особенностей изменения трещиностойкости наплавленного и основного металла в зависимости от основных технологических факторов транспорта продукта, для чего требуется проведение дополнительных исследований

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование кинетики распределения и диффузии водорода в сварных соединениях судостроительных сталей в зависимости от температурных условий окружающей атмосферы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве экспериментальных материалов использовали судостроительные корпусные стали 10ХСНД и 15ХСНД, которые наиболее широко используются в

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА В СВАРНОМ СОЕДИНЕНИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ

кораблестроении. Для определения диффузионного водорода в наплавленном металле производили наплавку на образцы размером $80 \times 15 \times 10$ мм, которые затем помещали в эвдиометры с водоглицериновой смесью, а также в эвдиометры со спиртом. Время наплавки образца составляло 30...35 с, а паузы от момента завершения наплавки до помещения образца в эвдиометры – 3...40 с. Наплавку на образцы, а также сварку монтажных стыков производили на открытом воздухе при температурах среды, принятых согласно плана экспериментов. Концентрацию остаточного водорода определяли методом вакуумной экстракции при расплавлении образцов на установке ВН-6 фирмы “Тереус” [11]. Сварку выполняли в нижнем положении постоянным током обратной полярности. Режим сварки соблюдали постоянным ($I_{св} = 180$ А; $U_{д} = 23... 24$ В).

В качестве сварочных материалов использовали электроды марок АНО-26 диаметром 4мм и АНО-ТМ диаметром 3 мм (для сварки корня шва).

В основу метода расчета концентрации и распределения водорода в сварных соединениях была положена схема количественного расчета диффузионного перераспределения водорода в сварных соединениях, разработанная И.К. Походней

и Л.И. Демченко (Институт электросварки им. Е.О. Патона Национальной академии наук Украины) [8,9], поскольку она хорошо согласуется с экспериментальными данными. С точки зрения математического моделирования, наибольшую сложность представляют учет переменной (в пространстве и времени) растворимости водорода в твердом и жидком металле, наличие локальных дефектов структуры (“ловушек” водорода), а также многомерный характер переноса.

Поэтому для упрощения модели в расчетах предполагали следующее:

а) роль внутренних дефектов структуры в перераспределении водорода и выделения из образца невелика;

б) влияние времени кристаллизации металла шва на процесс диффузии и перераспределения водорода ничтожно мало;

в) влиянием неизотермичности температурного поля сварного соединения можно пренебречь.

Определение критерия технологической прочности сварного соединения $\sigma_{рmin}$ производили по методике, подробно описанной в работах [5,6,7,10].

Зависимости скорости выделения водорода из наплавленного металла от температуры окружающей среды приведены на рис. 1.

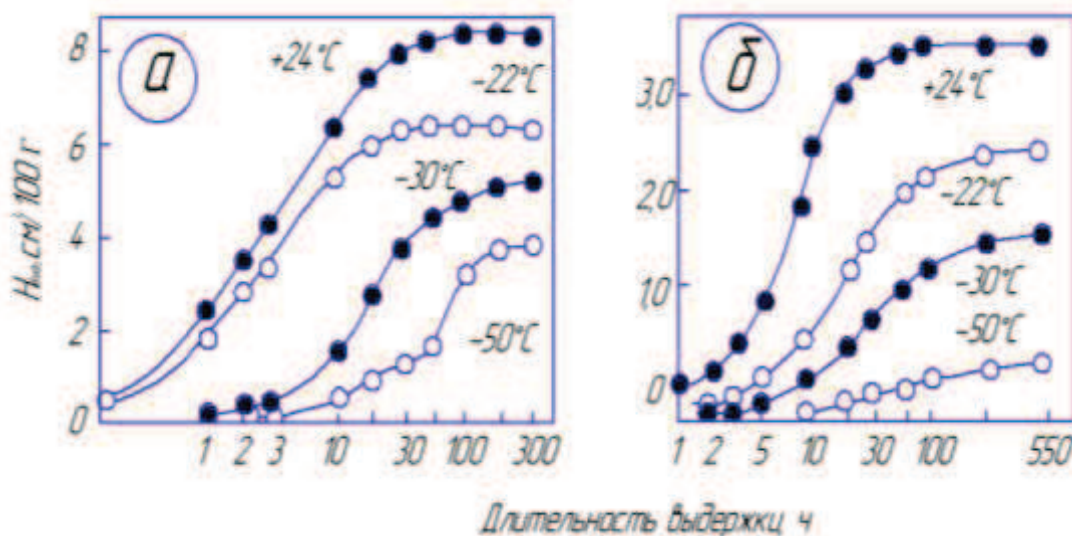


Рис. 1. Зависимость скорости выделения водорода из наплавленного металла от температуры среды: электроды АНО – 26; а) – глицериновая проба; б) – спиртовая проба

Рис. 1. Dependence of speed of selection of hydrogen from a наплавленного metal from the temperature of environment: electrodes of ANOAS - 26; а) is glycerin test; б) is spirit test

Видно, что с понижением температуры образцов на 60⁰С скорость диффузии уменьшается в среднем в 30 – 40 раз, а при температуре -40 -50 ⁰С ([Н]_{диф} < 5 см³/100г) скорость выделения водорода минимальна в течение 20 ч после сварки.

Заметное выделение диффузионного водорода выявлено лишь после выдержки образцов в спиртовых эвдиометрах более 200 ч (рис.1, б). В целом понижение температуры резко уменьшает количество выделившегося водорода из металла, особенно при сварке низководородистыми электродами с покрытием основного вида. Из рис.1(б) видно, что из наплавленного электродами АНО-26 металла при

температуре +20 ⁰С свободно выделилось около 3 см³/100г водорода, при -30 ⁰С – 0.85 см³/100г, а при -45 ⁰С – лишь 0.2 см³/100г. Перенос эвдиометров с замороженными образцами в помещение с комнатной температурой позволяет получить дополнительно выделившийся водород из наплавленного металла (табл. 1).

Скорость диффузии водорода [Н] диф зависит от температуры среды. Выдержка образцов при температуре +40 ⁰С (рис.2) понижает содержание водорода в шве с 2.2 до 0.5 см³/100г за 4 ч, при комнатной температуре – за 20 ч, а при -50 ⁰С водород практически не выделяется.

Таблица 1. Влияние температуры среды на содержание водорода (в см³/100г) в сварном шве

Table 1. Influence of temperature of environment on maintenance of hydrogen (in см³/100г) in weld-fabricated guy-sutures

Марка электрода	Температура прокалики, °С	Температура среды, °С	[Н] _{диф}	[Н] _{ост}	[Н] _{сум}
УОНИ-1355	400	+40	4,4	2,0	6,4
	400	-40	2,7	3,9	6,6
	200	+20	6,5	2,8	9,3
	200	-40	5,2	4,3	9,5
АНО-ТМ	400	+20	2,8	1,0	3,8
	400	-30	0,9	2,7	3,6
	400	-50	0,2	3,8	4,0
	200	+20	5,0	1,0	6,0
	200	-30	3,5	3,4	6,9
	200	-50	1,6	5,2	6,8

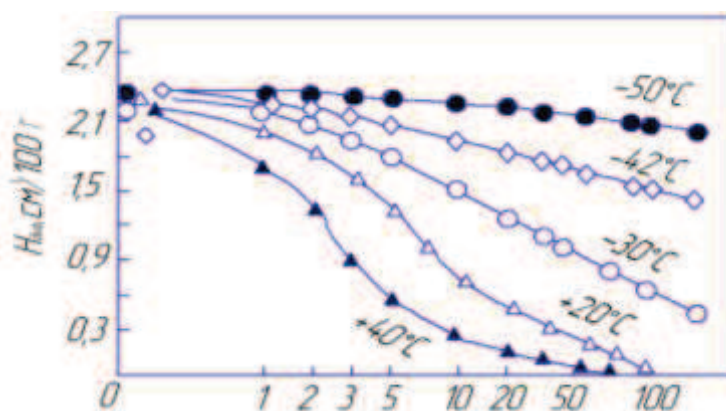


Рис. 2. Влияние температуры и длительности выдержки на содержание диффузионного водорода в сварных соединениях: электроды АНО – 26; спиртовая проба

Fig. 2. Influence of temperature and duration of self - control on maintenance of diffusive hydrogen in the weld - fabricated connections: electrodes of ANOAS - 26; spirit test

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДОРОДА В СВАРНОМ СОЕДИНЕНИИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЙ

Для анализа роли водорода в образовании холодных трещин в ОШЗ очень важно знать его перераспределение в сварных соединениях с течением времени. Однако применяемые экспериментальные методы не позволяют в полной мере судить о его диффузионном распределении в различных зонах соединения при сварке и после ее окончания. Поэтому в данной работе расчет перераспределения диффузионного водорода производили по формулам [1,2] в трех временных интервалах изменения температуры, в которых коэффициенты диффузии D_H принимали кусочно-постоянными $t_{пл}^0 \leq t_1 \leq t_{300}^0$; $t_{300}^0 \leq t_2 \leq t_{100}^0$; t_3 - при температуре окружающего воздуха. Их значения приведены в табл. 2. Временные интервалы варьировались в зависимости от

температуры среды и предварительного нагрева.

Как показано в работе [3], содержание водорода в металле шва контролируется скоростью охлаждения в интервале 300 – 100⁰С. Конфигурация шва воспроизводилась с помощью переменной координаты линии сплавления по высоте сечения. На рис. 3 и 4 представлены результаты распределения водорода в сварном соединении. Предварительный подогрев до 200⁰С способствует резкому снижению содержания водорода в центре шва – до 20 % начального содержания в течение 30 мин, причем в ЗТВ содержание водорода не превышает 20 % [H] (рис.3).

Таблица 2. Эффективные коэффициенты диффузии, см²/с
Table 2. Effective coefficients of diffusion, см²/с

В интервале температур, ⁰ С	$D_{шва}, D_{ом}$	$D_{зТВ}$
+40	$1.2 \cdot 10^{-4}$	$1.9 \cdot 10^{-5}$
+30	$2.2 \cdot 10^{-5}$	$1.9 \cdot 10^{-6}$
+20	$1.2 \cdot 10^{-6}$	$3.6 \cdot 10^{-7}$
- 35	$2.2 \cdot 10^{-7}$	$3.6 \cdot 10^{-8}$

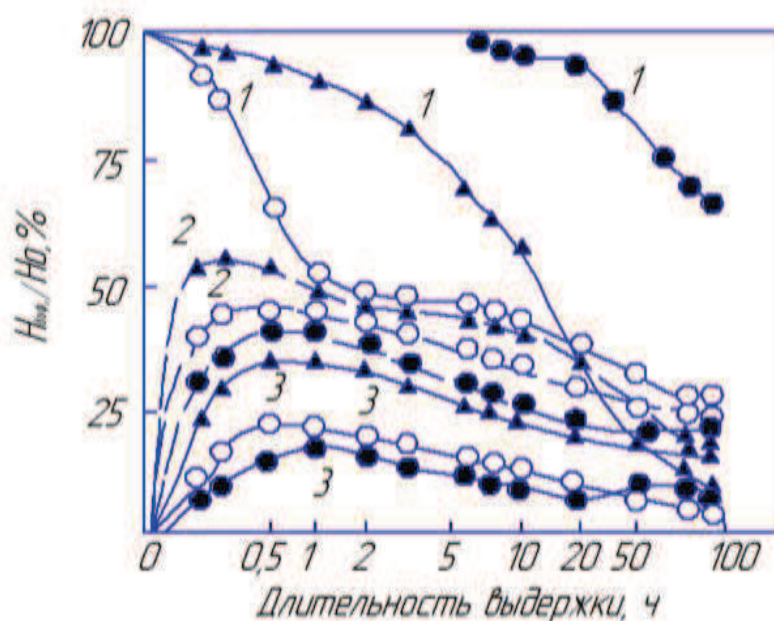


Рис. 3. Кинетика перераспределения водорода в V-образном сварном соединении:
 1 - центр шва; 2 - зона линии сплавления; 3 - зона термического влияния
Fig. 3. Kinetics of redistribution of hydrogen is in V - the vivid weld-fabricated connection:
 1 is center of guy-sutures; 2 is area of line of meltback; 3 is thermal affected zone
 Δ - $T_{ср}=+22^{\circ}C$; \bullet - $T_{ср}=-40^{\circ}C$; \circ - $T_{ср}=-40^{\circ}C$ и $T_{под}=200^{\circ}C$.

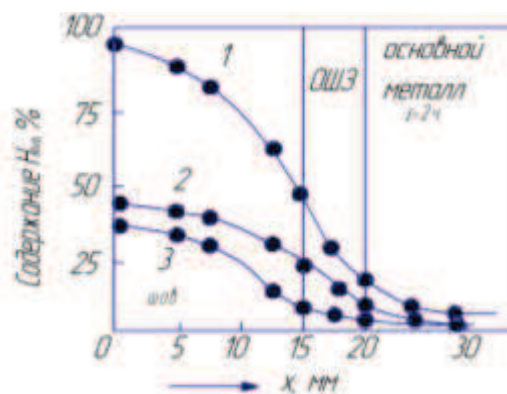


Рис. 4. Влияние подогрева на распределения водорода в сварном соединении:

1 – $T_{под} = 200^{\circ}\text{C}$; 2 – 50°C ; 3 – 0°C .

Fig. 4. Influence of heating on distributions of hydrogen in the weld-fabricated connection:

1 – $T_{под} = 200^{\circ}\text{C}$ 2 – 50°C ; 3 – 0°C .

Предварительный подогрев до 200°C способствует резкому снижению содержания водорода в центре шва – до 20 % начального содержания в течение 30 мин, причем в ЗТВ содержание водорода не превышает 20 % [H] (рис. 3).

С понижением температуры среды до -40°C существенно замедляется скорость десорбции водорода в окружающую атмосферу. Так, уменьшение содержания водорода в центре шва в 2 раза происходит при комнатной температуре за 2 – 3 ч, а при -40°C – за 12 – 15 ч. Максимальное содержание водорода в ЗТВ при температуре $+20^{\circ}\text{C}$ достигается за 1 – 3 ч, а при низких температурах – за 20 – 40 ч с сохранением этого условия длительное время. Также следует отметить, что предварительный подогрев приводит к резкому снижению уровня водорода в первые 30 мин после окончания сварки. Поэтому после окончания десорбции водорода из шва, наряду с предварительным подогревом, желателен и послесварочный нагрев соединения, особенно при отрицательных температурах воздуха. Следовательно, в зависимости от технологической прочности сталей и на основании расчетной модели диффузионного перераспределения водорода в монтажных соединениях после окончания сварки можно научно обосновать оптимальный режим предварительного подогрева и конструкторско-технологические приемы уменьшения скорости охлаждения стыка с учетом оптимизации режимов сварки, формы разделки кромок, правильного

выбора сварочных материалов, прокали электродов, ограничения времени между наложением проходов при многослойной сварке.

Из литературных данных следует, что до сих пор отсутствует количественная связь между склонностью сварного соединения к образованию трещин с действительной концентрацией в нем водорода. Известно, что наиболее существенное влияние на трещиностойкость сталей оказывает диффузионный водород при образовании в сварном шве или ОШЗ смешанной перлитно-мартенситной, бейнитно-мартенситной структур и структуры нижнего бейнита [4]. Авторы [1,4,16-20] обнаружили снижение сопротивления сталей 15ХСНД, 17Г1С, 10Г2С1, 10ХСНД холодным трещинам на 20 – 40 % при сварке в условиях отрицательных температур воздуха. Стали 14Г2САФ и 14Г2МР характеризуются низкой технологической прочностью, причем их трещиностойкость снижается на 10 – 20 % с понижением температуры.

Установлено [2,14-17], что наибольшее понижение трещиностойкости судостроительных сталей наблюдается в интервале от -20 до -40°C , в котором отрицательное влияние водорода на замедленное разрушение сварных соединений проявляется в большей степени. Как показывают результаты собственных исследований, уменьшение содержания водорода в шве от 8 до $1\text{ см}^3/100\text{г}$ повышает сопротивляемость сталей 10ХСНД и 15ХСНД холодным трещинам примерно в 2 – 2,5 раза (рис.5).

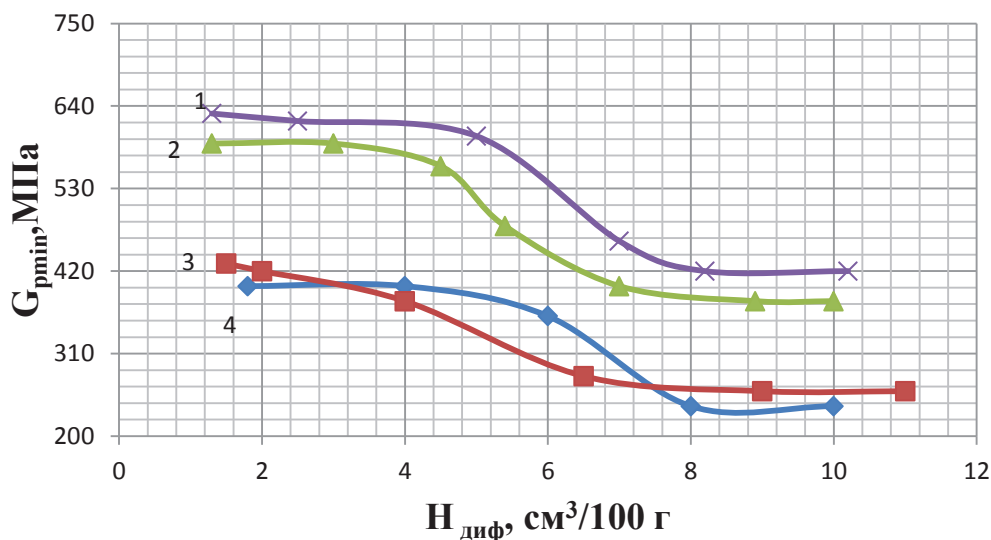


Рис. 5. Зависимость технологической прочности сварных соединений от содержания водорода в наплавленном металле
Опытные электроды АНО – 26; Обозначения: 1-10ХСНД; 2 – 15ХСНД; 3 – сталь 20; 4 – сталь 10

Fig. 5. Dependence of technological durability of the weld-fabricated connections on maintenance of hydrogen in the cooked metal

При уменьшении количества водорода в наплавленном металле до уровня $5 \text{ cm}^3/100\text{г}$ и ниже сопротивляемость этих сталей холодным трещинам σ_{pmin} возрастает на 50 – 60 %.

ВЫВОДЫ

1. С понижением температуры образцов на 60°C скорость диффузии водорода уменьшается в 30 – 40 раз, а при температуре $-40\dots -50^\circ\text{C}$ скорость выделения водорода из наплавленного металла минимальна в течение 20 ч после сварки. Так, при температуре $+40^\circ\text{C}$ содержание водорода в шве после сварки понижается с 2.2 до $0.5 \text{ cm}^3/100 \text{ г}$ за 4 ч, при комнатной температуре – за 20 ч, а при -50°C водород практически не выделяется.

2. Отработана технология применения математической модели расчета процесса диффузии и перераспределения водорода в сварном соединении с учетом термического цикла сварки, которая позволяет научно обосновать оптимальные режимы предварительного подогрева и конструкторско-технологические приемы

снижения скорости охлаждения монтажных стыков корпусных судостроительных сталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Sleptsov O.I., Tukholonov K.N. 1976: Vliyaniye otritsatelnykh temperatur pri svarke na sodержaniye diffuzionnogo vodoroda v naplavlennom metalle // Khrupkoye razrusheniye metallov pri nizkikh temperaturakh. – Yakutsk: Izd. YaF SO AN SSSR. – 74 – 80.
2. Larionov V.P., Sleptsov O.I. 1983: Priroda obrazovaniya kholodnykh treshchin i obespecheniye tekhnologicheskoy prochnosti svarnykh soyedineniy pri nizkikh temperaturakh. – Yakutsk: Izd. YaF AN SSSR. – 40 – 68.
3. Tarlinskiy V.D. 1969: Vliyaniye vodoroda na kharakteristiki mekhanicheskikh svoystv konstruksionnykh nizkolegirovannykh staley i svarnykh soyedineniy // Ustoychivost protiv korrozionnogo rastreskivaniya svarnykh soyedineniy truboprovodov i rol vodoroda pri elektrodugovoy svarke – M: VNIIST. – 91 - 123.
4. Sleptsov O.I. 1979: Vliyaniye nizkoy temperatury pri svarke na obrazovaniye

- kholodnykh treshchin v nizkolegirovannykh trubnykh stalyakh // Byul. NTI. – Yakutsk. – 25 - 26.
5. Kozlov R.A. 1960: Metodika opredeleniya vodorodnoy khrupkosti naplavlennogo metalla // Svarka. – L.: Sudpromgiz. – 21 - 29.
6. Ustalostnaya 1990: Ustalostnaya i tsiklicheskaya treshchinostoykost konstruksionnykh materialov // O.N.Romaniv, S.Ya.Yarema, G.N.Nikiforchin i dr. / Mekhanika razrusheniya i prochnost materialov: Sprav. posobiye v 4-kh t. Pod red. V.V.Panasyuka, T.4. – Kiyev: Naukova dumka.
7. Kozlov R.A. 1975: Vodorod pri vsarke korpusnykh staley. – L.: Sudostroyeniye. – 212.
8. Pokhodnya I.K., Demchenko V.F., Demchenko A.I. 1979: Matematicheskoye modelirovaniye povedeniya gazov v svarnykh shvakh. – Kiyev: Naukova dumka. – 56.
9. Pokhodnya I.K. 1976: Kinetika difuzionnogo pereraspredeleniya vodoroda mezhdum metallom shva i osnovnym metallom // Avtomaticheskaya svarka. – №5. – 3 - 12.
10. Moroz L.S., Chechulin B.B. 1967: Vodorodnaya khrupkost metallov. – M.: Metallurgiya. – 225.
11. Paltsevich A.P. 1982: Khromatograficheskii metod opredeleniya kolichestva diffuzionnogo vodoroda v svarnykh shvakh. – V kn.: Tretya Vsesoyuz. konf. po svarochnym materialam. – Kiyev: Naukova dumka. – 24 - 27.
12. Makarenko V.D. 2006: Nadezhnost neftegazopromyslovykh sistem. – Chelyabinsk: Izd. TsNTI. – 826.
13. Galichenko Ye.N. 2002: Tekhnologicheskiye metody obespecheniya treshchinostoykosti promyslovykh truboprovodov neftyanykh mestorozhdeniy. – Chelyabinsk: Izd. TsNTI. – 252.
14. Prognozirovaniye 1997: Prognozirovaniye korroziionno-mekhanicheskikh razrusheniy truboprovodov // A.G. Gareyev, I.A. Ivanov, I.G. Abdullin i dr. – M.: IRTs Gazprom. – 170.
15. Gutman E.M., Amosov B.V., Khudyakov M.A. 1978: Malotsiklovaya korroziionnaya ustalost trubnoy stali pri ekspluatatsii magistralnykh nefteprovodov // Stroitelstvo truboprovodov. № 2. – 27-29.
16. Zastosuvannya 2002: Zastosuvannya pidkhodiv mekhaniki ruynuvannya do otsinki vodnevoi degradatsii staley nafto- ta paroprovodiv / V.V. Panasyuk, G.M. Nikiforchin, O.Z. Student, Z.V. Slobodyan // Zb. "Mexanika i fizika ruynuvannya budivelnykh materialiv ta konstruksiy". – Vip. 5. – 537-546.
17. Trivkist 2004: Trivkist staley promislovykh truboprovodiv proti korozii-mekhanichnogo ruynuvannya / V. Chernov, V. Makarenko, Ye. Krizhanivskiy i in. // Fiz.-khim. mexanika materialiv. – Spets. vip. № 4, t. 1. – 440-445.
18. Korroziionnoye 1974: Korroziionnoye rastreskivaniye martensitnykh nerzhaveyushchikh staley v Niserovodorodsoderzhashchikh sredakh / A.I. Radkevich, VL. Koval, Ye.N. Kalichak i dr. // Korroziya i zashchita v neftegaz. prom-sti. – N2 11. – 3-5.
19. Radkevich A.I., Chaplya O.N., Vasilenko I.I. 1981: Korroziionno-elektrokhimicheskoye povedeniye nerzhaveyushchey stali v serovodorodsoderzhashchikh sredakh // Korroziya i zashchita v neftegaz. prom-sti. – № 5. – 2-4.
20. Turn J.S., Wilde V.E., Troianos S.A. 1983: On the Sulfide Stress Cracking of Line Pipe Steels // Corrosion. – Vol. 39, No 9. – 364-369.
21. Lunarska Ye. 1985: Hydrogen-induced degradation of low-carbon steel // Hydrogen Degradation of Ferrous Alloys. – Park Ridge: Noyes Rubl. – 763-798.
22. Zashchita 1987: Zashchita ot korrozii, stareniya i biopovrezhdeniy mashin, oborudovaniya i sooruzheniy. Sprav-k: v 2 t. / Pod red. A.A. Gerasimenko. – M.: Mashinostroyeniye. – T. 1. – 688.
23. Gertsog E. 1964: Korroziya staley v serovodorodnoy srede. Korroziya metallov. – M.: Metallurgiya. – 31-38.
24. Osnovni 2004: zakonmirnosti navodnyuvannya ta poverkhnevogo pukhirinnya trubnoi stali v sirkovodnevykh seredovishchakh / O. Radkevich, G. Chumalo, I. Dominyuk i in. // Fiz.-khim. mexanika materialiv. – Spets. vip. № 4, t. 1. – 446-449.
25. Nikolay Chausov, Valentin Berezin, Andrey Pilipenko. 2012: Modelirovaniye mekhanicheskoy sistemy ispytaniy mashina – ustroystvo dlya impulsivnogo vvoda energiy v sistemu – obrazets // Motrol –Commission motorization and energetics in agriculture. – Lublin, – vol.14 №3 – 206-212.
26. Loveykin V.S., Romasevich Yu.O. 2010: Optimizatsiya keruvannya rukhom

odnomasovikh mekhanichnikh sistem // Motrol
– Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa, tom 12
В. – 91-96.

**RESEARCH OF DISTRIBUTING
OF HYDROGEN IN WELD- FABRICATED
CONNECTION DEPENDING
ON TEMPERATURE TERMS**

Summary. The results of research of kinetics of distributing of hydrogen are resulted in the weld-fabricated connection depending on temperature conditions.

Key words: welding, hydrogen, temperature conditions, cold cracks.

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ТИПОРАЗМЕРНЫЙ РЯД СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТРАКТОРОВ

Григорий Шкариковский

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Оборон, 15*

Grigoriy Shkaryvskiy

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Изложены результаты исследований относительно обоснования перспективного многопараметрического типоразмерного ряда мобильных энергетических средств сельскохозяйственного назначения, главными параметрами которого есть номинальное тяговое усилие, мощность установленного двигателя и уровень универсальности.

Ключевые слова: мобильное энергетическое средство, типоразмерный ряд, главный параметр, номинальное тяговое усилие, мощность установленного двигателя, уровень универсальности.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Успешное реформирование агропромышленного комплекса Украины возможно при условии обеспечения высокой эффективности работы хозяйств различных размеров и форм землепользования, что непременно сопровождается как совершенствованием уже апробированных, так и внедрением новейших технологий выращивания сельскохозяйственных культур, базирующихся на соответствующих средствах механизации. Проблемы, возникающие при этом обуславливаются рядом факторов, одним из основных среди которых есть обеспеченность хозяйств высокоэффективными мобильными энергетическими средствами (МЭС).

Очерченная проблема, с учетом изменений в структуре парков хозяйств [1], характерна и для зарубежных стран. Это стимулировало тракторостроительные предприятия мира к существенному расширению номенклатуры МЭС и их стремительной эволюции, учитывая расширение возможностей уже существующих конструкций [2], и удовлетворяя тем самым запросы потребителей

энергосредств сельскохозяйственного назначения.

Однако эволюция энергетических средств имеет и негативные примеры, когда усовершенствованная или заново созданная машина не находила проектного применения на производстве (самоходные шасси СШ-45, СШ-75; интегральные тракторы типа МВ-трас, ЛТЗ-155, Fendt-524 Xylon и т.п.). Причинами этого могли быть организационные просчеты, ошибки при разработке, недостатки конструкции, отсутствие необходимых комплексов машин и орудий для агрегатирования, неудовлетворительные условия агрегатирования и т.п. Последствиями таких негативных примеров были чрезмерные затраты на разработку и внедрение новейших технологий и необходимых для их реализации технических средств, а отсюда и сдерживание научно-технического прогресса в сельскохозяйственном производстве. Выходом из этой сложной ситуации может быть разработка и оптимизация типоразмерного ряда МЭС сельскохозяйственного назначения, поскольку оптимизация параметрических (типоразмерных) рядов имеет важное значение. Оптимально выбранные параметрические ряды удовлетворяют потребности в продукции различных видов при наименьших общих затратах [3].

Учитывая изложенное выше, на данном этапе целесообразно обосновать типоразмерный ряд мобильных энергетических средств сельскохозяйственного назначения. Это позволит однозначно определиться с продукцией отечественного тракторостроения как сегодня, так и на перспективу, а также вернет в руки государства рычаги координации действий предприятий сельскохозяйственного машиностроения и, как следствие, ограничит расходы и сократит время

на разработку и внедрение новейших технологий в растениеводстве и техники для их реализации.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Основой типоразмерного ряда являются его главные параметры, которые должны оставаться неизменными в процессе модернизации машины. Учитывая изложенное выше, исследователи стремились систематизировать параметры энергосредств, выделив среди них главные и, обосновать как можно точнее типоразмерный ряд МЭС. По этой причине процесс обоснования и уточнения типоразмерного ряда энергосредств растянут во времени от момента создания первых машин и до нынешнего времени и, исходя из анализа опубликованных трудов, еще далек от завершения. Однако, ряд исследований, приведенных ниже, существенно приблизили этот процесс к завершению.

В 1940 году Д.А. Чудаков предложил принять тяговое усилие за параметр для определения класса трактора. В перспективном же типаже тракторов 1946 года в Советском Союзе в качестве главного параметра была принята мощность двигателя [4]. Однако, учитывая то, что увеличение мощности двигателя, необходимое на то время для обеспечения более высоких рабочих скоростей, мало влияло на тяговые показатели трактора, в качестве главного параметра для обоснования типоразмерного ряда тракторов на долгое время было принято номинальное тяговое усилие. Этот показатель был более устойчив при модернизации машин, включая и повышение их мощности [4].

В основу построения типоразмерного ряда тракторов по номинальному тяговому усилию был положен следующий принцип. Трактор с номинальным тяговым усилием $P_{кр.н}$, которое больше номинального тягового усилия $P_{кр.н i}$ класса i , но меньше номинального тягового усилия $P_{кр.н (i+1)}$ класса $(i + 1)$, относят к классу $(i + 1)$ в том случае, если $P_{кр.н} \geq 0,9 \times P_{кр.н (i+1)}$ и к классу i , если $P_{кр.н} < 0,9 \times P_{кр.н (i+1)}$. За основу при определении $P_{кр.н}$, принято такое тяговое усилие, при котором коэффициент использования сцепления $\varphi_{кр}$, а соответственно, и

буксования трактора, не превышают определенных заданных величин:

$$P_{кр.н} = \varphi_{кр} \quad (1)$$

где: G_1 - сцепной вес трактора; $\varphi_{кр}$ - коэффициент использования сцепления [4].

Следует отметить, что такая методика была принята во времена, когда наиболее полно реализовать мощность установленного двигателя можно было лишь через тягу, поскольку отбор энергии через другие системы был еще недостаточно распространен. Подобные подходы рассматриваются и сейчас при обосновании типоразмерного ряда мощных промышленных [5], и сельскохозяйственных [6] тракторов.

С развитием конструкций тракторов и сельскохозяйственных машин, их систем отбора и приема энергии, технологий выращивания сельскохозяйственных культур трактор также рассматривается, как мобильное энергетическое средство способное отдавать энергию преимущественно через системы отбора мощности. Прежде всего, это касается уборочных машин. Для уборочных самоходных шасси (их особенностью является возможность высвободиться из состава того или иного агрегата), в которых основная часть мощности используется через вал отбора мощности (ВОМ), может быть сохранена классификация по мощности двигателя [4].

Попытки разработки типоразмерного ряда МЭС по мощности установленного двигателя изложены в работах [7, 8, 9, 10]. Критериями обоснования уровней мощности в данных работах служили, в основном, возможности обеспечения экономических показателей работы преимущественно тяговых и тягово-приводных агрегатов в различных условиях при обеспечении оптимального уровня загрузки двигателя. Следует отметить, что в названных работах представлены разные уровни мощности двигателей энергосредств. Так, в работе [8] применены следующие классы мощности 10, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 110 и 130 кВт, в работе [7] - 25, 50, 60, 70, 80, 90, 130, 150, 165, 200 и 270 л.с., а в работе [10] мощность двигателей в пределах 27-503 л.с. до мощности 150 л.с. проградирована согласно арифметической прогрессией с разницей 7 л.с., а после 150 л.с. интервалы другие и изменяются по дру-

тому закону. Этот факт говорит об отсутствии единых научно обоснованных подходов к градации энергосредств по мощности установленного двигателя.

Интерес вызывает работа [11], в которой приведена классификация энергосредств по мощности установленного двигателя, которая соответствует Международной агрегатноунифицированной системе классификации энергосредств. В работе приведены шесть групп мощности: I - до 30 кВт; II - от 31 до 69 кВт; III - от 70 до 119 кВт; IV - от 120 до 150 кВт; V - от 151 до 220 кВт; VI - свыше 220 кВт. Однако, полностью отсутствует методика обоснования названных групп. Кроме того, в работе [11] применена попытка классификации энергосредств по годовой загрузке, что позволяет прогнозировать возможную экономическую эффективность энергосредства. Одним из недостатков данной работы является отсутствие научно обоснованной методики отнесения энергосредств к группам по мощности установленного двигателя и годовой загрузке. Кроме того, работа [11] направлена на рассмотрение уборочных машин специализированных и созданных на базе самоходных шасси, которые могут высвободиться и совсем не учитывает энергосредств других конструкций.

В работах [12 и 13] представлены ориентировочные уровни мощности двигателей МЭС сельскохозяйственного назначения, как в общем случае, так и внутри каждого из существующих тяговых классов, однако здесь ничего не сказано относительно использования этих уровней в качестве типоразмерного ряда для энергосредств.

Таким образом, в результате проведенного анализа установлено, что существует, как минимум, три подхода к обоснованию типоразмерных рядов МЭС: по номинальному тяговому усилию; по мощности установленного двигателя; по годовой загрузке. Согласно этому можно выделить три главных параметра, по которым существовали попытки обоснования типоразмерных рядов, а именно: номинальное тяговое усилие; мощность установленного двигателя и годовая загрузка. Изложенные обстоятельства затрудняют применение экономически обоснованных подходов к проектированию, изготовлению и

обеспечению эффективного использования энергосредств, что побуждает к поиску других или дополнительных главных параметров для построения одно- или многопараметрического типоразмерного ряда МЭС.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является обоснование перспективного типоразмерного ряда мобильных энергетических средств сельскохозяйственного назначения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В результате предварительно проведенных исследований относительно усовершенствования типоразмерного ряда МЭС сельскохозяйственного назначения установлено, что с целью обеспечения максимальной информации об энергетических средствах, которая помещается в главных параметрах их типоразмерного ряда последний целесообразно представлять многопараметрическим, главными параметрами которого целесообразно принять номинальное тяговое усилие, мощность установленного двигателя и уровень универсальности [14].

Учитывая то, что типоразмерный ряд целесообразно представить тремя главными параметрами, изучим множества существования значений каждого из них и во взаимодействии между собой.

Номинальное тяговое усилие. Стандартом [15] предусмотрено 10 тяговых классов тракторов 0,2; 0,6; 0,9; 1,4; 2; 3; 4; 5; 6; 8 с соответствующими им номинальными тяговыми усилиями 2, 6, 9, 14, 20, 30, 40, 50, 60 и 80 кН. Сегодня машины названных классов присутствуют в хозяйствах Украины не смотря на то, что тракторный парк за последние годы существенно сократился. Кроме того, в связи с реформированием аграрного сектора произошло существенное перераспределение площадей хозяйств, что требует при обосновании тяговых классов, которые сегодня необходимы для обеспечения выполнения основных технологических операций, анализа возможности применения всех предполагаемых стандартом [15] классов. Исключение могут составить лишь энергосредства класса 0,2, использование

которых предполагалось преимущественно в приусадебных хозяйствах, что и подтверждает их необходимость.

При обосновании тяговых классов руководствовались следующими соображениями. Государство имеет определенную площадь пашни, которая поделена между хозяйствами определенных размеров. Общая площадь пашни обрабатывается в два этапа: весной и осенью. В технологических процессах выращивания сельскохозяйственных культур предусмотрены операции, которые должны выполняться в оптимальные агротехнические сроки, что определяет в дальнейшем урожайность культуры. В связи с этим, для обоснования тяговых классов исследовалась возможность выполнения основных технологических операций в допустимые агротехнические сроки энергосредствами классов 0,6-8 в хозяйствах разных размеров. Исследовались следующие операции: основное возделывание почвы (пахота), сев озимых, посев сахарной свеклы, междурядная обработка сахарной свеклы. Уборочные операции в названный перечень не вошли, поскольку основной расход энергии при их выполнении осуществляется через механизмы и системы отбора мощности, а не через ходовую систему для создания тягового усилия.

В исследуемую выборку вошли хозяйства площадью 7,5, 15, 35, 75, 150, 250, 750, 1500, 2500, 3500, 4500, 6000, 8000 и 15000 га. Во время исследований определяли производительность агрегата согласно зависимости [16]:

$$W = 0,1 \times B_p \times V_p \times \tau, \quad (2)$$

где: W - производительность агрегата, га/ч; 0,1 - коэффициент перевода; B_p - рабочая ширина захвата, м; V_p - рабочая скорость агрегата, км/ч; τ - коэффициент использования времени смены.

Данные относительно B_p , V_p и τ принимались с учетом работ [16, 17, 18].

После определения производительности рассчитывали необходимое количество агрегатов созданных на базе тракторов классов 0,6 - 8 для выполнения всего объема работ в агротехнический срок по формуле [16]:

$$n = \frac{S}{W \times T_{CM} \times T_{AC}}, \quad (3)$$

где: n - необходимое количество тракторов, шт; S - площадь пашни, которая приходится к возделыванию (исходя из распределения

посевных площадей, вспашку проводят в осенний период под озимые зерновые, пар и т.д., площадь которых составляет около 40% от общей площади пашни хозяйства), га; T_{CM} - продолжительность смены, ч; T_{AC} - агротехнологический срок выполнения операции, дни.

По данным работы [19] агротехнологические сроки выполнения пахоты, сева озимых, посева свеклы и междурядной обработки свеклы принимались соответственно 22, 8 и 3 дня.

В результате исследований установлено, что наибольшее количество машин различных тяговых классов необходимо для выполнения пахоты. Результаты расчетов возможной потребности в энергосредствах различных тяговых классов представлены в табл. 1.

Данные табл. 1 указывают на то, что для выполнения пахоты в оптимальные агротехнические сроки для основных типов хозяйств, которые сегодня есть в Украине целесообразно использовать тракторы всех тяговых классов, которые предусмотрены стандартом [15]. Аналогичная картина наблюдается и для посева озимых при значительно более низких количественных показателях. Что касается посева и междурядной обработки сахарной свеклы, то здесь необходимо ограничиться сверху тракторами тягового класса 3, учитывая наличие существующих комплексов машин (включая и новые разработки) и экономическими и агротехническими требованиями к операциям.

В Украине сегодня производятся или могут производиться машины тяговых классов 0,2; 0,6; 0,9; 1,4; 2; 3; 4; 5, а полностью отсутствуют в производстве только тракторы классов 6 и 8. Избежать необходимости использования машин классов 6 и 8 можно за счет увеличения количества машин низких классов (см. табл 1), что будет сопровождаться увеличением количественного состава парков хозяйств. Однако, следует отметить, что в сельском хозяйстве Украины для выполнения технологических операций, сегодня используются трактора Т-130 класса 6 и тракторы Claas Challenger класса 8, что подтверждает необходимость их включения в типоразмерный ряд мобильных.

Таблица 1. Результаты расчетов потребности в тракторах различных тяговых классов для выполнения основной обработки почвы в разрезе площадей хозяйств

Table 1. Results of calculations of requirement in tractors of different hauling classes for implementation of basic treatment of soil in cut of areas of economies

Площадь хозяй- ства, га	Необходимое количество тракторов в разрезе тяговых классов, шт.								
	0,6	0,9	1,4	2	3	4	5	6	8
7,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
35,0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
75,0	2	1	1	1	1	1	1	1	1
150,0	4	2	1	1	1	1	1	1	1
250,0	7	2	1	1	1	1	1	1	1
750,0	22	5	3	2	1	1	1	1	1
1500,0	43	10	5	4	2	2	1	1	1
2500,0	72	17	9	7	3	3	2	2	2
3500,0	101	24	12	10	5	4	3	3	2
4500,0	129	31	15	12	6	5	4	3	3
6000,0	172	41	20	16	8	7	5	5	3
8000,0	230	54	27	22	11	9	7	6	4
15000,0	431	102	51	41	20	17	13	11	8

энергетических средств, и в которых сегодня нуждается сельскохозяйственное производство

Таким образом, перспективный типоразмерный ряд мобильных энергетических средств должен включать машины тяговых классов 0,2; 0,6; 0,9; 1,4; 2; 3; 4; 5; 6 и 8, для которых должны быть обоснованы уровни мощности двигателей и уровни универсальности.

Мощность установленного двигателя. Представленные в работе [13] ориентировочные уровни мощности двигателей для МЭС сельскохозяйственного назначения определены в разрезе существующих тяговых классов и насчитывают 65 позиций (5, 6, 7, 8, 9, 11, 19, 22, 26, 30, 35, 40, 41, 48, 49, 56, 57, 58, 67, 68, 70, 79, 81, 82, 92, 95, 96, 105, 112, 123, 128, 131, 140, 144, 154, 160, 161, 168, 180, 181, 184, 187, 193, 197, 200, 203, 211, 218, 225, 228, 240, 254, 257, 259, 262, 277, 295, 299, 305, 307, 320, 348, 351, 401 и 406 кВт), размещение которых трудно описать общеизвестными математическими законами (разница между соседними уровнями составляет от 1 до 50 кВт в случайной последовательности). Для каждого из суще-

ствующих тяговых классов уровни мощности определялись с учетом экономических требований, выраженных через коэффициент минимального использования мощности двигателя ε_{min} . Однако, при условии внедрения названных уровней мощности, может возникнуть ситуация, которая приведет к чрезмерным затратам при организации производства двигателей, а также может вызвать определенные трудности по обеспечению в конструкциях двигателей других, отличных от уровня мощности (масса, габаритные размеры и т.п.) требований потребителя.

С другой стороны в работе [12] приведен геометрический ряд уровней мощности двигателей мобильных энергетических средств, который сформирован также с учетом экономических требований сельскохозяйственного производства к ним. Этот ряд характеризуется пределами 5-406 кВт, знаменателем геометрической прогрессии $q = 1,192$ и двадцатью шестью членами (уровнями мощности), а именно: 5; 6; 7; 8; 10; 12; 14; 17; 20; 24; 29; 35; 41; 49; 59; 70; 83; 99; 119; 141; 169; 201; 240; 286; 341 и 406 кВт. Разница между соседними членами построенного ряда мощностей не превышает 20%, что го-

ворит о его стабильности, а отсюда и экономической предсказуемость на всем рассматриваемом интервале с границами 5-406 кВт. Кроме того наличие знаменателя геометрической прогрессии позволяет продолжить ряд в обе стороны без изменения его стабильности и экономических показателей при возникновении такой необходимости в результате развития конструкций как сельскохозяйственных машин и орудий, так и энергосредств.

Исходя из изложенного выше, при обосновании уровней мощности двигателей МЭС будущего типоразмерного ряда целесообразно было бы применить методiku, которая предусматривает определение базовых и промежуточных уровней. Тогда за базовые целесообразно принять обоснованные с учетом экономических требований и размещенных в геометрической прогрессии уровней мощности с границами 5 и 406 кВт [12]. Что же касается промежуточных уровней мощности, то в качестве таковых можно использовать уровни, приведенные в работе [13]. Однако, при решении этого вопроса, по нашему мнению, следует воспользоваться следующими соображениями.

Мощность двигателя существенно меняется в зависимости от технического состояния его деталей, качества топлива, гидравлического сопротивления воздухоочистителя и тракта подачи воздуха и т.д. В процессе эксплуатации мощность двигателя также не является величиной фиксированной. Поэтому, по нашему мнению, для двигателя в типоразмерном ряду целесообразно фиксировать уровень мощности, который обеспечивается его конструкцией и обоснованный геометрическим рядом с двадцатью шестью членами, приведенными выше, а промежуточные уровни могут быть произвольными, но ограниченными рамками соседних значений мощности в ряду и обеспечиваться только настройкой топливной аппаратуры. Так, например, базовым может служить уровень мощности 119 кВт, а промежуточные уровни ограничены отрезком 99-119 кВт. Такой подход, по нашему мнению, позволит потребителю формировать к каждому из двигателей, которые характеризуют тот или иной

уровень мощности отдельные требования, продиктованные сферой применения конкретного энергосредства. То есть двигатели, которые будут использоваться на энергосредствах типоразмерного ряда будут обеспечивать указанные выше базовые уровни мощности и конструктивно обеспечивать необходимые сферы применения (уровни универсальности) МЭС, или, что одно и то же, будут иметь определенную гамму моделей и модификаций в одном классе мощности.

Уровень универсальности. Потребитель эксплуатирует энергосредства, потенциал которых в 3-4 раза превышает уровень его использования [20, 21], что негативно отражается на себестоимости продукции, поскольку за технику, которая обладает высокими показателями необходимо платить больше. Причиной этого является неконтролируемое повышение значений показателей, которые влияют на универсальность и не регламентированных как типоразмерным рядом, так и процедурой его оптимизации.

Обоснование базовых уровней универсальности при разработке типоразмерного ряда МЭС позволит решить вопросы обоснования конструкции машины еще на стадии проектирования предусмотрев конструктивно максимально-возможной ее комплектацию, чтобы достичь необходимого уровня универсальности. А уже комплектацией при поставках потребителю (установкой или не установкой заказанных узлов) регулировать уровень универсальности и, соответственно, цену энергосредства.

Учитывая то, что обоснование уровней мощности двигателей изложенное в работах [12] и [13] проведено с теми допущениями, что с целью расширения сферы применения энергосредств за счет использования на уборочных работах (повышение уровня универсальности), применение более высокого балластирования (также повышение уровня универсальности) необходимо повысить мощность двигателя можно утверждать, что в построении типоразмерного ряда МЭС заложена зависимость универсальности от мощности. При таких условиях базовые уровни универсальности энергосредств

Таблица 2. Значение коэффициента универсальности конструкции тракторов задействованных в выполнении основных технологических процессов

Table 2. Value of coefficient of universality of construction of tractors of the basic technological processes involved in implementation

Культура	Марка трактора									
	ХТЗ-17021	Т-150К	Т-150	ХТЗ-120	Т-70С	ПМЗ-6АКЛ	ПМЗ-80	МТЗ-80/82	Т-25	Т-16МГ
1. Многолетние травы	-	-	0,14	-	-	0,13	-	0,20	0,14	-
2. Картофель	-	0,17	0,15	-	-	-	-	0,17	-	-
3. Кукуруза на зерно	0,15	0,15	0,15	-	-	0,10	-	0,15	-	-
4. Кукуруза на силос	-	0,15	0,15	-	-	0,09	-	0,15	-	0,09
5. Озимая пшеница	0,15	0,15	0,15	-	-	0,09	-	0,13	0,06	-
6. Озимая рожь	-	0,15	0,15	-	-	0,10	-	-	0,06	0,09
7. Пшеница ярая	0,15	0,14	0,15	-	-	0,09	-	0,11	-	-
8. Подсолнух	-	0,17	0,15	0,14	-	0,10	0,20	-	0,06	0,09
9. Сахарная свекла	-	0,15	0,15	-	0,17	0,10	-	0,14	-	-
10. Ячмень	-	0,15	0,15	-	-	0,12	-	-	0,06	0,09

должны быть связаны с уровнями мощности двигателей, то есть построены в виде геометрического ряда, основой построения которого является определение его исходных параметров: $K_{уК.min.i}$ - минимальное значение коэффициента универсальности конструкции задействованного в выполнении технологических процессов энергосредством определенного типа; $K_{уК.max.i}$ - максимальное значение коэффициента универсальности конструкции задействованного в выполнении технологических процессов энергосредством того же типа; $g_{уК}$ - знаменатель геометрической прогрессии базовых уровней универсальности.

С целью определения исходных параметров геометрической прогрессии обращались к результатам исследований уровней универсальности тракторов реализованных в технологических процессах выращивания и уборки сельскохозяйственных культур, изложенных в работе [21], дополнив их исследованиями в области последних разработок технологических процессов [22], результаты которых приведены в табл. 2.

Результаты исследований, приведенные в табл. 2 показывают, что энергосредства ЮМЗ-6АКЛ и ЮМЗ-80 имеют показатели универсальности, характер изменения которых скачкообразный. Так, в технологическом процессе выращивания подсолнечника значение $K_{уК}$ для ЮМЗ-6АКЛ не превышают 0,10, а для ЮМЗ-80 - составляют 0,20, что можно объяснить улучшением отдельных показателей для ЮМЗ-80 по сравнению с ЮМЗ-6АКЛ. В других технологических процессах показатель универсальности находится в пределах 0,09 - 0,13, что позволяет в качестве $K_{уК.min.i}$ принять значение 0,10, а в качестве $K_{уК.max.i}$ - 0,20.

Для построения геометрического ряда воспользовались методикой примененной нами при построении геометрического ряда мощностей двигателей изложенной в работах [12] и [13], предварительно заменив в них параметр «мощность» на «уровень универсальности».

После проведенных расчетов установлено, что геометрический ряд уровней универ-

сальности МЭС характеризуется знаменателем $g_{уК} = 1,778$ и

включает 5 уровней, а именно: 0,10; 0,18; 0,32; 0,56 и 1,00. Полученные уровни универсальности является требованием к общей конструкции машины, и могут служить в качестве базовых уровней универсальности.

Анализ работ [20, 21] и табл. 2 показывает, что представленные в них энергосредства реализовывают в технологических процессах показатели универсальности, которые очень низки и существенно отличаются от заложенных в их конструкциях.

Логично допустить, что уровень развития технологических модулей для агрегатирования с МЭС не будет настолько стремительным, чтобы реализовать все задекларированные уровни универсальности. Поэтому следует допустить, что повышение уровня универсальности энергосредств будет осуществляться вместе с развитием технологических модулей к ним менее высокими темпами за счет изменения комплектации энергосредства того или иного базового уровня универсальности. Этого можно достичь, используя в качестве промежуточного ряда уровней универсальности арифметическую прогрессию с разностью $d = 0,10$. Тогда ряд промежуточных уровней универсальности будет иметь 9 ориентировочных уровней, а именно: 0,10; 0,20; 0,30; 0,40; 0,50; 0,60; 0,70; 0,80 и 0,90.

Учитывая то, что базовый уровень универсальности является максимально возможным для данной конструкции машины взаимодействие базовых и промежуточных уровней универсальности можно представить следующим образом (табл. 3). Как показывают данные табл. 3, промежуточные уровни наиболее сгруппировались возле наивысшего показателя базового уровня универсальности, что и характерно, поскольку этот уро-

вень самый сложный и его реализация в технологических процессах будет наиболее продолжительной.

Задача обоснования типоразмерного ряда МЭС заключается в сочетании обоснованных нами выше рядов энергосредств по номинальному тяговому усилию, по мощности установленного двигателя и по уровню универсальности.

Сочетание рядов по номинальному тяговому усилию и мощности установленного двигателя уже состоялось, поскольку уровни мощности определялись в пределах тяговых классов [13] и только, с учетом обоснованного в работе [12] общего ряда мощностей двигателей для МЭС сельскохозяйственного назначения требует уточнения путем замещения уровней мощностей приведенных в работе [13] аналогичными или ближайшими высшими, если отсутствуют аналогичные по размеру уровни мощности геометрического ряда обоснованного в работе [12].

Относительно сочетания рядов номинального тягового усилия и мощности установленного двигателя с рядом универсальности следует заметить следующее. Поскольку, как указывалось выше, существует зависимость уровня универсальности от мощности внутри тягового класса энергосредств, то базовые уровни универсальности целесообразно распределять внутри тягового класса энергосредств подобно уровням мощности. Согласно данным работы [13] в отдельных тяговых классах присутствуют 3-6 уровней мощности, а уровней универсальности предусмотрено всего 5. Учитывая то, что в типоразмерном ряду будут представлены аналогичные, или более высокие значения мощности, по сравнению с приведенными в работе [13], обоснование уровней универсальности для них целесообразно проводить согласно следующих соображений:

Таблица 3. Взаимодействие базовых и промежуточных уровней универсальности МЭС
Table 3. Co-operation of base and intermediate levels of universality of MES

	Значение уровня универсальности									
	0,10	0,18	0,32	0,56	1,00					
Базового	0,10	0,18	0,32	0,56	1,00					
Промежуточного	-	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90

а) если внесенный в типоразмерный ряд нижний (начальный) уровень мощности для определенного тягового класса равен или очень мало отличается (до 5%) от нижнего (начального) уровня для этого класса задекларированного в работе [13], то данному начальному уровню мощности соответствует начальный уровень универсальности, второй уровень мощности соответствует второму уровню универсальности и т.д.;

б) если включенный в типоразмерный ряд начальный уровень мощности превышает задекларированный в работе [13] начальный уровень более чем на 5%, то начальному уровню мощности соответствует второй уровень универсальности, а второму уровню мощности - третий уровень универсальности и т.д.;

в) если верхний уровень мощности энергосредства данного класса превышает верхнюю границу возможных значений мощностей, задекларированную в работе [13], и порядковый номер этого уровня превышает количество уровней универсальности, то этому уровню мощности соответствует наивысший уровень универсальности;

г) для энергосредств тяговых классов 4 и выше, где наблюдается ограничение количества уровней мощности действуют правила а и в.

С использованием приведенных выкладок был построен перспективный типоразмерный ряд мобильных энергетических средств - табл. 4.

Данные табл. 4 показывают, что энергосредства различных тяговых классов предусматривают разные уровни универсальности. Так, предложенным типоразмерным рядом не предусмотрен самый низкий уровень универсальности для колесных энергосредств классов 0,9, 3 и 8, а гусеничных - 4, 5 и 8. Это можно считать оправданным, поскольку энергосредства, например, класса 3, согласно результатам исследований изложенных в работе [21] и табл. 2 имеют показатели универсальности, которые существенно превышают количественное значение уровня универсальности первого базового уровня - 0,10, хотя промежуточный уровень 0,10 для них возможен для реализации.

Особого внимания заслуживает установленный факт отсутствия в обоснованном

типоразмерном ряде энергосредств с двигателями мощностью 14 и 17 кВт предусмотренными геометрическим рядом обоснованным в работе [12]. Причиной этому, по нашему мнению, есть большой промежуток между тяговыми классами 0,2 и 0,6. Одним из путей ликвидации это может быть введение еще одного тягового класса, который характеризовался бы энергосредствами с двигателями мощностью 12, 14, 17, 20 и 24 кВт. Однако для принятия такого решения необходимо иметь достаточное научное и, в первую очередь, экономическое обоснование.

ВЫВОД

В результате проведенных исследований установлено, что перспективный типоразмерный ряд мобильных энергетических средств сельскохозяйственного назначения должен характеризоваться: номинальным тяговым усилием, которое, на данном этапе, будет реализовываться десятью тяговыми классами, а именно: 0,2; 0,6; 0,9; 1,4; 2; 3; 4; 5; 6 и 8; мощностью установленного двигателя представленной геометрическим рядом, который характеризуется пределами 5-406 кВт, знаменателем геометрической прогрессии $g = 1,192$ и двадцатью шестью членами (уровнями мощности), а именно: 5; 6; 7; 8; 10; 12; 14; 17; 20; 24; 29; 35; 41; 49; 59; 70; 83; 99; 119; 141; 169; 201; 240; 286; 341 и 406 кВт; уровнем универсальности, который предусматривает пять базовых уровней расположенных в геометрической прогрессии со знаменателем $g_{у\kappa} = 1,778$, а именно: 0,10; 0,18; 0,32; 0,56; 1,00 и девять, расположенных по правилам арифметической прогрессии с разностью $d = 0,10$ промежуточных уровней универсальности, а именно: 0,10; 0,20; 0,30; 0,40; 0,50; 0,60; 0,70; 0,80 и 0,90. Дополнение обоснованного типоразмерного ряда МЭС сельскохозяйственного назначения может осуществляться путем введения дополнительных классов по номинальному тяговому усилию, мощности установленного двигателя и уровню универсальности, при условии создания достаточного научного, и в первую очередь, экономического обоснования, что может составить направления даль-

нейших научных исследований по данному вопросу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Szeptycki A. 2003: Prognoza wyposazenia polskiego rolnictwa w ciągniki, kombajny i samochody / A. Szeptycki, Z. Wójcicki // Motrol. Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. – Т. 5. – Lublin. – 184 - 191.
2. Shkarivskiy G. 2007: Prospects of agregating self-propelled chassis // G. Shkarivskiy, S. Pogorilyy // Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Т. 9А. – Lublin. – 194 - 201.
3. Tipovaya 1976: Tipovaya metodika optimizatsii odnomernogo parametricheskogo (tiporazmernogo) ryada / Nauch. rukovodit. Tkachenko V.V. – М.: Izd-vo standartov, – 64.
4. Trepenenkov I.I. 1963: Ekspluatatsionnyye pokazateli selskokhozyaystvennykh traktorov / I.I. Trepenenkov. – М.: Metallurgizdat. – 271.
5. Fogel A.A. 1991: Tiporazmernyy ryad moshchnykh promyshlennykh traktorov / A.A. Fogel, V.S. Zakharov // Traktory i selskokhozyaystvenny mashiny, № 3. – 9-11.
6. Ksenevich I.P. 1990: Ratsionalnyy tiporazmernyy ryad perspektivnykh selskokhozyaystvennykh traktorov / I.P. Ksenevich, M.I. Lyasko, V.N. Minizon, A.P. Parfenov // Traktory i selskokhozyaystvenny mashiny, № 11. – 4-7.
7. Antyshev N.M. 1993: Prognoz potrebnosti i neobkhodimost struktury traktornogo parka / N.M. Antyshev // Traktory i selskokhozyaystvenny mashiny, № 8. – 1-6.
8. Samsonov V.A. 1998: Obosnovaniye tiporazmernogo ryada traktorov s adaptiruyemyy parametrami / V.A. Samsonov, A.A. Zangiyev // Tekhnika v selskom khozyaystve. № 4. – 24-28.
9. Zangiyev A.A. 1999: Obosnovaniye parametrov Semeystvo mobilnykh energeticheskoy platezhi odnogo tyagovogo klassa / A.A. Zangiyev, N.I. Bychkov // Tekhnika v selskom khozyaystve. – № 3. – 3-5.
10. Rossiyskiy 2004: Rossiyskiy traktor: realnost i perspektivy. Po materialam press-sluzhby OAO «Agromashkholding» // Traktory i selskokhozyaystvenny mashiny. № 5. – 2-9.
11. Butova P. 2001: Klassifikatsiya energosredstv po tekhniko-ekonomicheskogo parametrov / P. Butova, P. Nazarov, A. Zatsarin-nyy // Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva. № 7. – 6-8.
12. Shkarivskiy G.V. 2005: Obruntuvannya rivniv potuzhnosti dviguniv mobilnykh yenergetichnykh zasobiv / G.V. Shkarivskiy, S.P. Pozhidaev // Naukovo-teoretichnyy zhurnal Ukrainskoi akademii agrarnykh nauk “Visnik agrarnoi nauki”. – №9. – 48-51.
13. Shkarivskiy G.V. 2006: Obruntuvannya rivniv potuzhnosti dviguniv mobilnykh yenergetichnykh zasobiv silskogospodarskogo pryznachennya isnuyuchykh tyagovykh klasiv / G.V. Shkarivskiy // Mizhvidomchiy tematchniy naukoviy zbirnik “Mekhanizatsiya ta yelektrifikatsiya silskogo gospodarstva”. Vipusk 90. – Glevakha, NNTs “IMESG”. – 98-107.
14. Shkarivskiy G.V. 2010: Obruntuvannya pereliku golovnykh parametriv tiporozmynogo ryadu mobilnykh yenergetichnykh zasobiv / G.V. Shkarivskiy // Visnik Kharkivskogo natsionalnogo tekhnichnogo universitetu silskogo gospodarstva im. Petra Vasilenka. – Kharkiv: FOP Chernyak V.E. – Vip. 93. – Т.1. – 302-309.
15. GOST: GOST 27021-86 (ST SEV628-85). Traktory selskokhozyaystvennyye i lesokhozyaystvennyye. Tyagovyye klassy.
16. Maslo I.P. 1991: Vdoskonalennya yekspluatatsii mashinno-traktornogo parku / I.P. Maslo, M.I. Gritishin, M.F. Tereshchuk ta in. – K.: Urozhay. – 176.
17. Fere N.E. 1971: Posobiye po ekspluatatsii mashinno-traktornogo parka / N.E. Fere i dr. – М.: Kolos. – 254.
18. Makovetskiy O.A. 1991: Mekhanizatsiya proizvodstva sakharnoy svekly / O.A. Makovetskiy, V.V. Brey, L.V. Pogorelyy, V.P. Leshinskiy: Pod red. L.V. Pogorelogo. – 2-e izd. pererab. i dop. – K.: Urozhay. – 184.
19. Beylis V.M. Yermolayeva N.A., Kulikova N.A. 1988: Normativnaya prodolzhitelnost mekhanizirovannykh polevykh selskokhozyaystvennykh robot / V.M. Beylis, N.A. Yermolayeva, N.A. Kulikova i dr. – М.: VIM. – 12.
20. Shkarivskiy G.V. 2004: Doslidzhennya vplivu zagalnoi konstruktsii MEZ na pokazniki universalnosti pri stvorenni mashinno-traktornykh agregativ / G.V. Shkarivskiy // Mizhvidomchiy tematchniy naukoviy zbirnik “Mekhanizatsiya ta yelektrifikatsiya silskogo gospodarstva”. Vipusk 88. – Glevakha, NNTs “IMESG”. – 70-77.

21. Shkarivskiy G.V. 2004: Doslidzhennya pokaznikiv universalnosti traktoriv, zaynyatikh u vikonanni osnovnikh tekhnologichnikh protsesiv / G.V. Shkarivskiy, S.P. Pogoriliy, A.S. Kokhno // Mizhvidomchiy tematichniy naukoviy zbirnik "Mekhanizatsiya ta yelektrifikatsiya silskogo gospodarstva". Vipusk 88. – Glevakha, NNTs "IMESG". – 78-85.
22. Tekhnologichni 2004: Tekhnologichni karti ta vitrati na viroshchuvannya silskogospodarskikh kultur / za red. P.T. Sabluka, D.I. Mazorenka, G.E. Maznyeva. – Kharkiv: KhNTUSG. – 307.

PERSPECTIVE STANDARD SERIES OF AGRICULTURAL TRACTORS

Summary. The results of studies on rationale for prospective multivariate standard series of mobile power for agricultural purposes, the main parameters which have nominal traction, installed power and versatility.

Key words: mobile power tool, standard series, main parameter, nominal traction, installed power, versatility.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ АНАЛИЗА И ОБРАБОТКИ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ ПРИ КАЛОРИМЕТРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Виктор Василенков, Максим Гудзенко

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15

Victor Vasilyenkov, Maksym Gudzenko

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Обосновано использование разработанной авторами программы для расчетов полученных данных определения удельной теплоты сгорания для твердого и жидкого топлива при калориметрических исследованиях. Усовершенствованная форма отчета эксперимента позволяет облегчить анализ хода расчетов данных.

Ключевые слова: теплота сгорания, калориметрическая бомба, солома, программа, эксперимент.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Биомасса, как один из наиболее универсальных ресурсов на Земле, становится все более востребованным сырьем при использовании ее для обогрева и получения энергии. Сельскохозяйственная биомасса, используемая как топливо, имеет ряд особенностей, которые отличают ее от традиционных энергоресурсов, применяемых для отопления. Наиболее важной топливно-технологической характеристикой биомассы, которую используют как твердое биотопливо, является ее теплотворная способность (теплота сгорания) топлива [1–4]. Теплота сгорания топлива – основная теплотехническая характеристика, определяющая его энергетическую ценность и представляет собой количество теплоты, которое выделяется при полном сгорании единицы массы твердого или жидкого топлива, или единицы объема газообразного топлива [5]. При сгорании любого топлива выделяется определенное количество теплоты в виде температурного скачка, и сам характер распределения температур в течение определенного времени важен при определении теплотворных свойств топлива. Основой потенциала биологического топлива для сельскохозяй-

ственного производства является солома, но оценить этот потенциал невозможно без данных по теплоте сгорания различных видов соломы [6]. Теплоту сгорания определяют двумя методами: расчетным и экспериментальным. Расчетный метод определения теплотворной способности топлива, основанный на элементном составе образца, рассчитываемый по эмпирической формуле Д.И. Менделеева [7–9]. Однако, расчетные методы определения удельной теплоты сгорания для твердого и жидкого топлива рекомендуется использовать только для оценочных расчетов и для контроля качества результатов экспериментального метода, так как применение этой формулы дает приближенный результат [5]. Экспериментальный метод определения энергетической ценности топлива или его теплоты сгорания является наиболее точным способом, который производится в лабораторных условиях с использованием специального прибора, так называемой калориметрической бомбе.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В последние годы возникли значительные трудности в области теплотехнических измерений в связи с тем, что новые стандартизированные приборы для измерения теплоты сгорания стоят дорого, а водяные калориметры, которые эксплуатируются в химических лабораториях предприятий, лабораториях контроля качества продукции, лабораториях арбитражу, лабораториях горноперерабатывающей промышленности, лабораторий тепловых электростанций и других – морально устарели и выработали свой физический ресурс. В таких калориметрах процессы измерений не автоматизированы и они

нуждаются высококвалифицированного обслуживающего персонала и специальных помещений для эксплуатации [9].

Сделанный мониторинг по применению калориметрических бомб для определения теплотворных свойств топлив на территории Украины показал, что ее применение очень ограничено. Это объясняется следующими причинами:

- произошла потеря передачи поколениями работников практических навыков работы на этих установках, то есть нынешнее молодое поколение лишилось технологии проведения опытов;

- в связи с распадом бывшего СССР производство калориметрических бомб осталось в России и стоимость ее колеблется в пределах 220-300 тыс. гривен. Кроме России, производством калориметрических бомб занимается Германия и Китай.

Помимо того, немаловажным фактом при определении теплоты сгорания топлива экспериментальным методом, является последующая обработка результатов эксперимента.

В большинстве случаев результаты опытов представляют в виде таблиц, графиков и расчетных формул. При проведении расчетов «вручную» могут быть допущены технические ошибки, включающие и человеческий фактор. Поэтому, в некоторых зарубежных работах, например [11, 12], для проверки полученных данных используют программу Microsoft Excel, а в работе [13] описано использование программного обеспечения (Saver2 Board: Lai24USB) при проведении непосредственно эксперимента.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель работы – усовершенствование анализа и обработки полученных данных при калориметрических исследованиях, путем использования разработанной авторами программы и визуализированной формы отчета эксперимента.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В Национальном университете биоресурсов и природопользования Украины на ка-

федре теплоэнергетики для научных исследований по определению энергетической ценности (теплоты сгорания) твердого и жидких топлив используется лабораторная калориметрическая установка.

Проведенные исследования по определению теплотворных свойств различных видов биомассы позволило приобрести практический опыт работы на калориметрической бомбе и разработать поэтапную технологию определения теплоты сгорания твердого биотоплива [14].

В работах [14-20] подробно описано устройство калориметрической установки, порядок работы и методика проведения опытов.

Последующий этап анализа полученных данных при калориметрических исследованиях показал, что при обработке массива результатов эксперимента, значительным фактором, влияющим на конечный результат, есть человеческий фактор. Ведь не исключено, что допущенная ошибка, при расчетах теплоты сгорания топлива, по результатам опыта может сильно повлиять на конечный результат и исказить его от действительного. Поэтому, авторами данной работы, для сокращения трудоемкости проведения калориметрического опыта и исключения субъективной ошибки разработано программное обеспечение в среде программы Microsoft Excel.

Программа включает в себя несколько листов электронной книги Microsoft Excel, которые отформатированы под лист бумаги формата А4 для удобства распечатки готовой формы отчета. На первом листе вверху располагается форма протокола исходных данных для определения теплоты сгорания испытуемого образца топлива и включает в себя данные, приведенные в таблице 1. Далее следует протокол опыта измерения температуры по шкале термометра в периодах размещенных в таблице 2. Интервал измерений температуры составляет 30 с.

Определения теплоты сгорания топлива по результатам опыта.

Теплоту сгорания аналитической массы топлива в бомбе определяют по формуле [21]:

$$Q_{\delta}^a = \frac{K H [(t_K + h_K) - (t_0 + h_0) + \Delta t] - q_{np} G_{np}}{G_T},$$

Таблица 1. Данные замеров установки и исследуемого образца
Table 1. Data of measuring of setting and investigated standard

№ п/п	Величина	Обозначение	Единица	Значение
1	Топливо (марка)	–	–	солома льна
2	Масса тигля	m_T	г	8,8
3	Масса пакета	m_{Π}	г	0,1
4	Навеска топлива	G_T	г	1,3
5	Теплоемкость калориметра	K	кал/г	1646,5
6	Материал проволоки запала	–	–	медь
7	Масса проволоки запала	$G_{\Pi P}$	г	0,25
8	Теплота сгорания проволоки запала	q_{np}	кал/г	500

Таблица 2. Протокол опыта показаний по шкале термометра в периодах
Table 2. Protocol of experience of testimonies on the scale of thermometer in periods

Номер измерения	Показания по шкале термометра в периодах, °С		
	Начальный период	Главный период	Конечный период
0	25,60	25,00	27,60
1	25,40	25,90	27,50
2	25,20	27,00	27,50
3	25,20	27,30	27,50
4	25,20	27,40	27,50
5	25,10	27,40	27,50
6	25,10	27,50	27,50
7	25,00	27,50	27,50
8	25,00	27,50	27,40
9	25,00	27,60	27,40
10	25,00	27,60	27,40
11	–	27,60	–

где: K – массовая теплоемкость калориметра, равная количеству теплоты, необходимой для нагревания на 1°С всей калориметрической системы установки, Дж/град (величина K берется по паспорту данного калориметра);

t_0 , t_K – соответственно начальная и конечная температуры главного периода, °С (по табл. 1);

h_0 , h_K – поправки к градуировке термометра, соответственно при температурах t_0 и t_K (для учебной лабораторной работы можно применять $h_0 = h_K = 0$);

Δt – поправка на теплообмен калориметра с внешней средой:

$$\Delta t = \frac{m}{2} \left[\frac{(t_1^H - t_{11}^H) + (t_1^K - t_{11}^K)}{10} \right] + \frac{r}{2} \left(\frac{t_1^K - t_{11}^K}{10} \right),$$

где: $t_1^H, t_{11}^H, t_1^K, t_{11}^K$ – соответственно значение первого и одиннадцатого измерений температуры в начальном и конечном периодах;

m – число полуминутных промежутков главного периода с быстрым подъемом температуры – $0,3^\circ\text{C}$ и более для топлив с высокой и средней теплотой сгорания и $0,1^\circ\text{C}$ – для топлива с низкой теплотой сгорания. К числу m всегда относится первый промежуток периода, независимо от его величины;

r – число полуминутных промежутков главного периода, не вошедших в число m ;

q_{np} – теплота сгорания проволоки для запала, Дж/г;

G_{np} – масса несгоревшей проволоки во время опыта, вычисляется по первоначальной массе запала, пропорционально длине сгоревшего проволоки l_{np} .

G_T – масса навески испытуемого топлива, г;
 H – значение деления шкалы термометра.

Величину Q_δ^a вычисляют с точностью до целого числа.

По ГОСТ 147-95 Q_δ^a – определяют для каждой пробы топлива два раза и за истинное значение принимают среднее арифметическое.

При несовпадении результатов двух опытов на 80 Дж/г (20 кал/г) определяют третий раз, и как результат, принимают среднее арифметическое из двух наиболее близких значений.

Для проведения лабораторных работ студентами в программе предусмотрен визуальный пошаговый этап вычислений приведенных выше формул. Например:

$$\Delta t = \frac{3}{2} \left[\frac{[25,6 - 25,0] + [27,6 - 27,4]}{10} \right] + \frac{9}{2} \left[\frac{27,6 - 27,4}{10} \right] = 1,5 \left[\frac{0,6 + 0,2}{10} \right] + 4,5 \left[\frac{0,2}{10} \right] = 1,5 \left[\frac{0,8}{10} \right] + 4,5 \times 0,02 = 1,5 \times 0,08 + 0,09 = 0,12 + 0,09 = 0,210^\circ\text{C}$$

$$Q_\delta^a = \frac{1646,5 \times 1 \times ([27,6 + 0,1] - [25,0 + 0,1] + 0,210) - 500 \times 0,25}{1,3} =$$

$$= \frac{1647 \times [27,7 - 25,1 + 0,210] - 125,0}{1,3} = \frac{1646,5 \times 2,810 - 125,0}{1,3} = \frac{4626,7 - 125,0}{1,3} = \frac{4501,7}{1,3} = 3463 \text{ кал/г}$$

Полученные данные в кал/г преобразуем на кДж/кг = 14481,51 кДж/кг

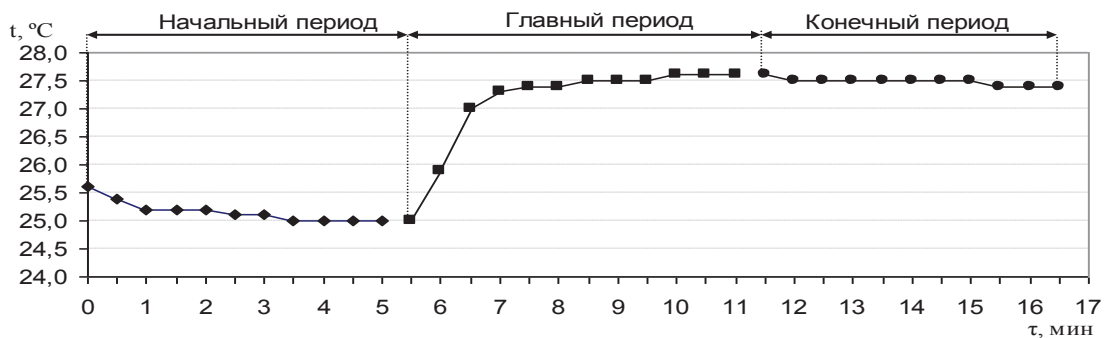


Рис. 1. Результаты изменения температуры в ходе calorimetрического опыта
 Fig. 1. Results of change of temperature during calorimetry experience

По итоговым данным таблицы 2, программа строит график $\tau = f(t)$ (рис. 1) изменения температуры в ходе калориметрического опыта.

Рабочая книга программы состоит из нескольких листов с пустыми формами протоколов и листом сводной таблицы для произведенных опытов. Это позволяет пользователю программы выборочно распечатывать или один протокол, или сразу готовую сводную таблицу результатов по всем опытам.

Следует отметить, что ячейки рабочего листа (кроме тех, в которые вносятся данные по таблицам 1 и 2), защищены от случайного изменения формул.

Достоверность полученных результатов на калориметрической бомбе, подтверждены патентом на способ градуировки калориметра в изотермическом режиме при постоянном объеме [22].

ВЫВОД

Для сокращения трудоемкости проведения калориметрического опыта и исключения субъективной ошибки при расчетах по полученным данным эксперимента, разработано программное обеспечение в среде программы Microsoft Excel. Усовершенствованная форма отчета эксперимента, позволяет облегчить анализ хода расчетов полученных данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bioenergiya 2009: Bioenergiya v Ukraini – rozvitok silskikh teritoriy ta mozhlivosti dlya okremikh gromad: Naukovo-metodichni rekomendatsii shchodo vprovadzhennya peredovogo dosvidu agrarnikh pidpriemstv Polshchi, Litvi ta Ukraini zi stvorenniya novitnikh obyektiv bioenergetiki, yefektivnogo virobnitstva i vikoristannya biopaliv: [Nauk.-metod. rekomend.] / [V.O. Dubrovin, M.D. Melnichuk, Yu.F. Melnik, V.G. Mironenko ta in.]. – K.: Natsionalniy universitet bioresursiv i priroдокористuvannya Ukraini; Institut budivnitstva, mekhanizatsii ta yelektrifikatsii silskogo gospodarstva, Polshcha, Institut agrarnoi inzhenerii, Litva. – 122.

2. Biopaliva 2004: Biopaliva (tekhnologii, mashini i obladnannya) / [Dubrovin V.O., Korchemniy M.O., Maslo I.P. ta in.]. – K.: Tsentr tekhnichnoi informatsii „Energetika i yelektrifikatsiya”. – 256.

3. Polishchuk V., Dubrovin V., Polishchuk A. 2012: Alternativnyye dizelnyye topliva // Motrol. Commission of motorization and Energetics in agriculture. – Lublin-Kiev-Simferopol-Mykolaiv-Lviv-Rzeszow. – Vol. 14, No 3, – 20-31.

4. Polishchuk V., Mironenko V., Tarasenko S. 2012: Iskopayemyye toplivno-energeticheskiye resursy // Motrol. Commission of motorization and Energetics in agriculture. – Lublin-Kiev-Simferopol-Mykolaiv-Lviv-Rzeszow. – Vol. 14, No 3, – 126-139.

5. Grigoryev K.A., Rundygin Yu.L., Trinchenko A.L. 2006: Tekhnologiya szhiganiya organicheskikh topliv. Energeticheskiye topliva: Ucheb. posobiye. – SPb.: Izd-vo Politekh. unta. – 92.

6. Golub G. A. 2009: Teplota zgoryannya ta umovi spalyuvannya solomi / Golub G. A., Luk'yanets V. O., Subota S. V. // Naukoviy visnik Natsionalnogo universitetu bioresursiv i priroдокористuvannya Ukraini. – K. – Vip. 134, ch. 2. – 275-278.

7. Zikev T.A., Korelin A.I. 1948: Analiz energeticheskogo topliva. – M.-L.: Gosenergoizdat. – 328.

8. Mendeleyev D.I. Sochineniya: nauchnoye izdaniye. 1949: T. KhI / D. I. Mendeleyev; red. V. G. Khlopin; Akademiya nauk SSSR. – L.; M.: Akademiya nauk SSSR. – 584.

9. Teplotekhnika 1976: Teplotekhnika / I.T. Shvets, V.I. Tolubinskiy, A.I. Alabovskiy i dr. – K.: Vyssh. shk. – 518.

10. Vorobyov L.Y. 2001: Konduktivniy bomboviy kalorimetr dlya vimiryuvannya teploti zgoryannya paliva: avtoref. dis. na zdobuttya nauk. stupenya kand. tekhn. nauk: spets. 05.11.04 «Priladi ta metodi vimiryuvannya teplovikh velichin» / Vorobyov Leonid Yosipovich; Institut tekhnichnoi teplofiziki NAN Ukraini. – K. – 18.

11. Laboratornaya 2011: Laboratornaya rabota po kursu: Osnovy khimicheskoy fiziki. Termokhimiya. Opredeleniye teploty sgoraniya organicheskikh soyedineniy / Prostov V.N., Zubtsov D.A., Zubtsova Zh.I., Yavorskiy V.A.

- М.: Moskovskiy fiziko-tekhnicheskiy institut. – 16.
12. Using 2004: Using Bomb Calorimetry to Determine the Resonance Energy of Benzene / Experimental Physical Chemistry / [Elektronniy resurs] / Rezhim dostupu do zhurn: http://www.uwlax.edu/faculty/loh/pdf_files/chm313_pdf/Manual_current/chm313_Expt2_bomb.pdf (data obrashcheniya: 10.02.2013)
13. Kalorimetriya 2001: Kalorimetriya. Metodicheskiye ukazaniya k vypolneniyu laboratornykh rabot po fizicheskoy khimii / Gorokhovskiy A.V., Yefanova V.V., Simakov V.V., Seryanov Yu.V. – Saratov: Saratovskiy gosudarstvennyy tekhnicheskiy universitet. – 12.
14. Vasilenkov V.E. 2010: Poyetapna tekhnologiya viznachennya teplotvirnoi vlastivosti tverdogo biopaliva // Naukoviy visnik Natsionalnogo universitetu bioresursiv i prirodokoristuvannya Ukraini. – K. – Vip. 144, ch. 3. – 157-163.
15. Vasilenkov V.E. 2009: Doslidzhennya teplotvornoї vlastivosti tverdogo biopaliva // Naukoviy visnik Natsionalnogo universitetu bioresursiv i prirodokoristuvannya Ukraini. – K. – Vip. 134, ch. 2. – 107-111.
16. Vasilenkov V.E. 2010: Grafo-analitichne viznachennya zmini temperaturi pri kalorimetrichnikh doslidzhennyakh // Naukoviy visnik Natsionalnogo universitetu bioresursiv i prirodokoristuvannya Ukraini. – K. – Vip. 153. – 182-187.
17. Vorobyev L.I., Grishchenko T.G., Dekusha L.V. 1997: Bombovyie kalorimetry dlya opredeleniya teploty sgoraniya topliva // Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal. – Tom 70, №5. – 828-839.
18. Kiryanov K.V. 2007: Kalorimetricheskiye metody issledovaniya. Uchebno-metodicheskiy material po programme povysheniya kvalifikatsii «Sovremennyye metody issledovaniya novykh materialov elektroniki i optoelektroniki dlya informatsionno-telekommunikatsionnykh sistem». – Nizhniy Novgorod. – 76.
19. GOST 1928: GOST 147–95 (ISO 1928–76). Toplivo tverdoye mineralnoye. Opredeleniya vysshey teploty sgoraniya i vychisleniye nizshey teploty sgoraniya.
20. DSTU 2006: DSTU ISO 1928:2006 Paliva tverdi mineralni. Viznachennya nayvishchoi teploti zgoryannya metodom spalyuvannya v kalorimetrichniy bombi ta obchislennya naynizhchoi teploti zgoryannya (ISO 1928:1995, IDT).
21. Metodichni 2007: Metodichni vkazivki do laboratornoi roboti “Viznachennya teploti zgorannya tverdogo paliva”. – K.: KPI. – 16.
22. Patent 2011: Pat. 64516 Ukraina, kl. G01N25/26. Sposib graduyuvannya kalorimetra v izotermichnomu rezhimi pri postynomu ob’emi / Vasilenkov V.E.; zayavl. 14.04.11, opubl. 10.11.11, Byul. №21.

IMPROVEMENT OF ANALYSIS AND TREATMENT OF FINDINGS IN CALORIMETRIC STUDIES

Summary. Justified the use of program developed by authors for calculation of data determining specific heat of combustion of solid and liquid fuels for calorimetric studies. Perfected form of report of the experiment allows to facilitate analysis of settlement data.

Key words: heat of combustion calorimetric bomb, straw, software, experiment.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПОЛЯ

Александр Броварец

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

Aleksandr Brovarets

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Мониторинг состояния сельскохозяйственных угодий – важное направление повышения эффективности сельскохозяйственного производства путем обеспечения качества выполнения технологических операций. Традиционные лабораторные методы исследования стоимостные, занимают много времени, и результаты измерения не сразу можно получить. Потому, быстрый сенсорный контроль необходим для оценивания состояния сельскохозяйственных угодий.

Ключевые слова: точное земледелие, мониторинг, сельскохозяйственные угодья, оптическое дистанционное зондирование.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

На современном этапе развития технологий сельскохозяйственного производства возникает необходимость дифференцированного подхода к каждому элементарному участку поля. Это дает возможность обеспечить локально-ленточное дифференцированное внесение технологических материалов (семян, минеральных удобрений и тому подобное). Для реализации этих технологий необходимо проводить мониторинг агробиологического состояния растительной среды путем измерения спектров отражения растительной тени, что позволит проводить в реальном времени тестирования больших площадей растительности за время короткой во время выполнения технологических операций – внесение минеральных удобрений. Дифференцированное внесение минеральных удобрений – один из важнейших экологических и экономических аспектов точного земледелия.

Обзор исследований в направлении повышения эффективности мониторинга дает

возможность утверждать, что на данном этапе развития информационных технологий возникает необходимость использования принципиально новых способов [1, 2, 3, 4, 5, 6], которые способствуют повышению эффективности и качества мониторинга, снижают затраты на выполнение данной операции. Исследования отечественных и зарубежных научных работников [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7] указывают на необходимость широкого распространения методов анализа агробиологического и фитосанитарного состояния сельскохозяйственных угодий неконтактными методами с применением оптических систем, в частности систем технического зрения.

На основе анализа литературных источников [5, 6, 9, 10, 11] установлена высокая эффективность использования неконтактных методов с использованием оптических систем высокой разрешающей способности (систем технического зрения) для проведения агромониторинга. Методы оптической съемки широко используются для мониторинга состояния посевов и полей после уборки урожая [9].

Неконтактные методы мониторинга, согласно с методикой [10, 12, 13], разделяются на два основных типа: пассивные (измерение естественного теплового или отраженного солнечного излучения) и активные (предусматривают использование искусственных источников излучения (в первую очередь лазеров) и регистрацию отраженного излучения или флуоресценции объектов, которые исследуются). Неконтактный мониторинг с использованием систем технического зрения проводится преимущественно пассивным методом в видимом и инфракрасном спектрах [14, 15, 16].

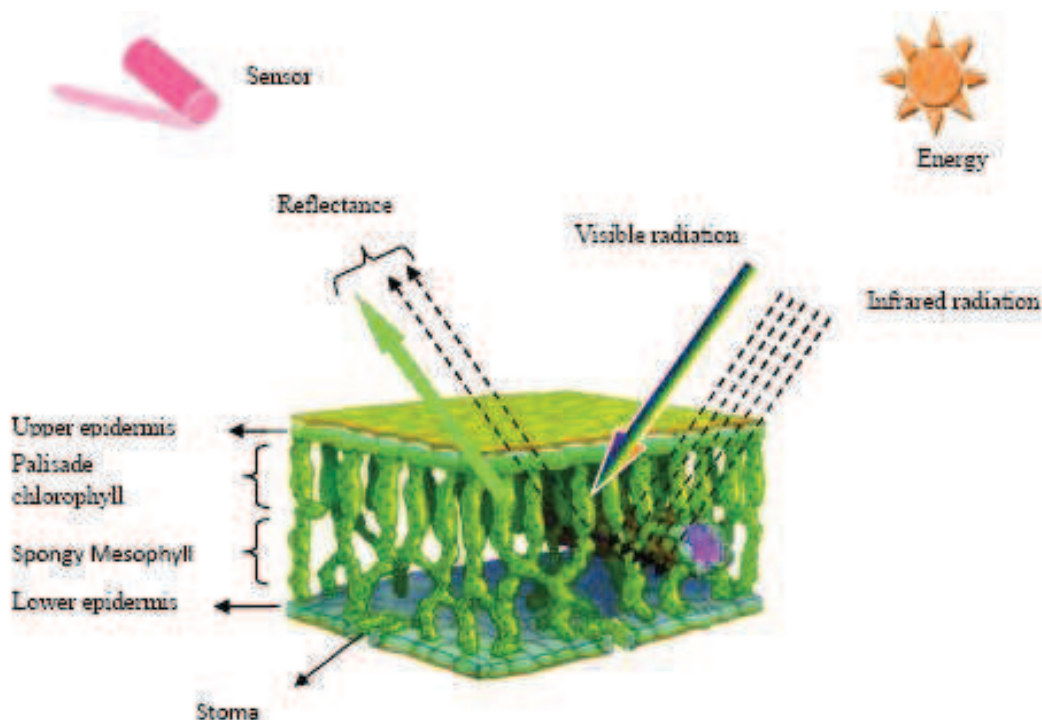


Рис. 1. Взаимодействие между источником энергии, листовым структурным и спектральным датчиком

Fig. 1. Co-operation between an energy source, sheet structural and spectral sensor

На рис. 1 показанное взаимодействие между источником энергии, листовым структурным и спектральным датчиком. Большинство видимой энергии поглощаются палисадом хлорофилла, которые содержат пигменты хлорофилла, отраженные лучи регистрируются датчиком (Рис. 1). Однако, излучение не зацепления ячейками палисада и проникает к губчатому мезофилу.

Принцип оптического дистанционного зондирования, что происходит от спектроскопии, которая изучает взаимодействие между электромагнитным излучением и веществом. В спектроскопии дистанционное зондирование сосредоточивается на коэффициенте отражения вместо спектральной поглощающей способности. Согласно Ламбертовскому закону [17], солнечная энергия попадает на объект (письмо), часть из которой поглощается и отбивается. Частица энергии, отраженной от поверхности зависит от длины волны и изменяется для разных объектов по разному.

Уникальные спектральные особенности зеленой растительности позволяют определить количество биомассы, сухое вещество, хлорофилл, азотную и вегетативную частицу и тому подобное. Для выявления изменения

состояния сельскохозяйственных угодий используется коэффициент отражения. Коэффициент отражения – это величина, что описывает величину сигнала оптических датчиков и потенциал, чтобы оценить качество сельскохозяйственных угодий, и определить методы для установления взаимосвязи между спектральным коэффициентом отражения и изменениями состояния сельскохозяйственных угодий. Коэффициент отражения изменяет при разных длинах волн. Потому, две особенности, которая не различается в одном спектральном ряду, могут быть совсем другие в другой части спектра. Потому, это существенное свойство вещество позволяет разным особенностям быть идентифицированным и отделенным их спектральными подписями. Спектральный коэффициент отражения определяется как соотношение отраженного излучения к полному излучению, что попадает на поверхность [18].

Одним из активных методов мониторинга является метод лазерной томографии растительности (согласно с Канивским В.О. и др., в 1992 г.) [15, 16], что позволяет получать объемные трехмерные изображения на основе регистрации двумерных срезов, ко-

торые получают в разных проекциях. Поэтому возникает необходимость последующего определения эффективной системы для мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

С появлением технологий дистанционного зондирования земли, их активно использовать для дистанционного зондирования сельскохозяйственных угодий, чтобы определять изменения роста и развития растительности [16, 17]. Данные технологии дают возможность установить взаимосвязь между индексом вегетационного роста и биофизическими и биохимическими изменениями на сельскохозяйственных угодьях. Разработанное большое их количество и для дистанционного мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий начиная от суборбитальной авиации и спутников к наземным средствам базирования.

Средства доставки систем технического зрения в зависимости от назначения классифицируют от переносных ручных средств к спутникам [10, 11, 12, 13] и разделяются на такие классы: дистанционное зондирование, аэрофотосъемка, мониторинг, ближнего (преимущественно с использованием наблюдательных вышек, транспортных и ручных средств). Выбор соответствующего класса зависит от возможностей сельскохозяйственного производства и поставленных задач. Следует отметить, что материалы дистанционного зондирования благодаря высокой обзорности, оперативности и объективности является самым эффективным источником геопространственной информации [13, 15, 16, 17]. В основу современного дистанционного зондирования природных ресурсов положен принцип многоспектральной съемки, который базируется на анализе значительного количества спектральных характеристик отдельных естественных объектов и их совокупности в разных зонах электромагнитного спектра. Такие системы обеспечивают реализацию таких принципиальных возможностей, выполнение которых не проводится через большую трудоемкость с использованием существующих методов мониторинга [10, 11, 12]. Применение авиатехни-

ки, сравнительно с космической, является более дешевой технологией для потребностей сельского хозяйства [10, 14]. Аэрокосмические методы являют собой объективную автоматизированную систему сбора информации о почвенных ресурсы [11, 12, 13]. Для мониторинга используют также данные аэрофотосъемки из легких летательных аппаратов – аэростата или мотодельтапланов при цифровом картографировании [14].

Использование способов дистанционного зондирования и аэрофотосъемки для мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий на данном этапе достаточно непродуктивные, что связано в первую очередь со стоимостью и необходимой степенью детализации (разрешающей способностью, достоверностью) полученных снимков [13, 14]. Преобладающую эффективность мониторинга с использованием систем технического зрения имеет мониторинг ближнего, реализация которого возможна с использованием наблюдательных вышек, транспортных и ручных средств. Из проведенного обзора литературных источников [9, 10, 11] составленная классификация способов и средств мониторинга с использованием систем технического зрения (рис. 2). Установлено, что преобладающую эффективность для мониторинга имеют системы технического зрения, которые установлены на наземных средствах базирования – подвижных транспортных средствах. На данном этапе достаточно широко используют существующие транспортные средства, как средства доставки систем технического зрения.

С целью классификации методов и подходов, которые используются при мониторинге с использованием систем технического зрения, последние разделены на три класса: низкого, среднего и высокого уровня [13, 14]. Системы технического зрения низкого уровня предназначены для обработки информации из датчиков.

Системы среднего уровня (разрешающей способностью до 10 Mpix) предназначены для выполнения задач сегментации, описания и распознавания отдельных объектов. К системам технического зрения, которые используются для мониторинга, относят оптические устройства, которые осуществляют съемку в видимом спектре и других видах спектров.



Рис. 2. Классификация способов и средств мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий с использованием систем технического зрения

Fig. 2. Classification of methods and facilities of monitoring of the state of agricultural lands with the use of the systems of technical sight

С помощью применения определенных средств при механизированном возделывании сельскохозяйственных культур, с использованием данных мониторинга, мы контролируем состояние сельскохозяйственных угодий. [19].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является провести обзор, на основе которого установить тенденции развития систем мониторинга variability параметров сельскохозяйственного поля и скомпоновать рациональную систему приборов для обеспечения дифференцированного внесения минеральных удобрений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На данном этапе разработано множество устройств для мониторинга variability параметров сельскохозяйственного поля, использование которых дает возможность обеспечить дифференцированное внесение (например, локально-ленточное) минеральных.

Известные разные конструкции машин для дифференцированного рассеивания доз разных видов минеральных удобрений в зависимости от содержания их аналогов в почве [20]. Недостатком этой машины является то, что она обеспечивает рассеивание азотных, фосфорных и калийных минеральных удобрений в зависимости от фактического наличия азоту, фосфору и калию в почве но не учитывает их содержание в растении, что снижает прирост урожайности сельскохозяйственных культур от применения удобрений то есть их эффективность.

На данном этапе используют разные типы сенсорных датчиков (табл. 1), которые устанавливаются на агрегатах для внесения жидких минеральных удобрений и средств защиты растений [21]. Датчики в реальном времени определяют основные параметры почвенного покрова (или биомассы), которые необходимо учитывать для регуляции роста растений. С помощью компьютера и соответствующего программного обеспечения выполняется определение количества удобрений, необходимого для определенного участка поля. Потом данные передаются на агрегат, которые вносят удобрения.

Таблица 1. Сенсорные датчики
Table 1. Sensory sensors

№	Марка производитель	Характеристики
1.	Greenseeker Hundo Agri	Устанавливают на удобритель с рабочей шириной восторгу 18 м (30 датчиков с шагом 0,6 м). Измеряют количество отображенного от растений света в диапазоне 600-780 нм. После вычисления на компьютере индекса вегетации растений подается на жиклер отдельная строго определенная порция. Удобрение вносят локально.
2.	Miniveg N Hundo Agri	Использованный принцип лазерной флюоресценции. Излучение лазера после отражения от растений попадает на детектор, где определяется концентрация хлорофилла. Работа системы не зависит от солнечного освещения. Система может определять заболевание на листе растений. Датчики крепят на штанге, которая возвращается по ходу движения.
3.	N-Sensor Hundo Agri	Система измеряет оптическую густоту посевов и концентрацию хлорофилла в листе растений. Источник освещения - солнечный луч, который раскладывается в датчике и сравнивается с отображенными от растений лучом. Определяется цвет листья и густота травостоя и, в зависимости от этих показателей, вносится необходимое количество удобрений. Датчик расположен выше трактора, что позволяет обследовать большую площадь поля. Да, при высоте датчика 3,5 м с обеих сторон исследуется эллипс шириной 2,85 м.
4.	Grop- Sensor Hundo Agri	Применяют для точного дозированного внесения фунгицидов и стимуляторов роста на колосовых культурах, которые не вылегли. На передней части трактора шарнирно крепится маятник, который измеряет силу сопротивления растений перемещению при движении трактора и подает соответствующий сигнал исполнительным органам для внесения определенного количества жидкости.
5.	YARA N-Sensor	Применяют для определения содержание азота в растениях, соответствующей азотной подкормки и внесения регуляторов роста растений
6.	Agrocom VRA (Grop-Meter)	Система непрерывно измеряет биомассу растений и осуществляет соответствующее переменное дозирование СЗР по ходу движения агрегата

Система YARA N-Sensor модели в 1999 году [21] имеет 2 спектрометра на основе диодных линеек (diode array spectrometers) с 5-ма входными оптико-волоконными системами, а также компьютерную систему с программным обеспечением, с терминалом управления и считчиком из карты хранения данных, соединенную с GPS- или DGPS-системами и электронным контролером, который связанный с исполнительным механизмом машины. Четыре входных оптико-волоконных системы (два слева и две справа) вводят в первый спектрометр световые пото-

ки, отраженные от поверхности растений сельскохозяйственного поля, а пятая оптико-волоконная система вводит во второй спектрометр световой поток от датчика освещенности. Эта система является пассивной, которая использует освещение и работает лишь днем (8-10 часов в сутки).

Это активная система, что построена на основе системы YARA N-Sensor, которая кроме естественного освещения использует дополнительное освещение и работает 24 часа на сутки.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПОЛЯ

Существуют и другие спектрометрические системы, которые обеспечивают мониторинг состояния сельскохозяйственных угодий. В частности, полевой спектрорадиометр модели HS-300 американской компании Arogee [22] имеет такие технические характеристики:

- диапазон длин волн - от 350 до 1000 нм;
- спектральное различие - $\delta\lambda=0.5\text{нм}$;
- отношение сигнал/шум - до 1000:1;
- детектор - ПЗЗ линейка 2048 пикселей, размером 14*200 мкм;
- линейный диапазон измерения от 0 до 2,1 единиц оптической густоты, абсорбции <0,5 %;
- время интеграции - от 4 до 6500 мс.

Аналитическая система UniSpec-SC Spectral Analysis System [23]. Это одноканальное (VIS/NIR) портативное спектральное устройство с собственным процессором, который позволяет проводить измерение интенсивности света, отраженного листьями растений, а также пригодный для дистанционного зондирования экосистем. Время измерения полного спектра (310-3100 нм) 1с.

Известный спектрорадиометр FieldSpec 4 компании ASD Inc., США [24]. Спектрорадиометр FieldSpec 4 воплотил в себе все лучшие показатели, которые имел его предшественник - FieldSpec 3: имеет рабочий диапазон 350-2500 нм, который обеспечивается одновременной работой трех внутренних спектрометров, каждый из которых работает в своем спектральном диапазоне. Спектральное различие устройства составляет величину $\lambda\delta=3\text{нм}$ на длине волны $\lambda=700\text{нм}$. Кроме того, спектрорадиометр FieldSpec 4 имеет GPS-приемник, что подключается к управляющему компьютеру для автоматической записи данных о местонахождении, где была проведенная съемка.

Все эти спектральные аналогичные устройства одноканальные. При проведении спектрометрических измерений в натуральных условиях, особенно в пределах Европейской зоны, при наличии частого изменения освещенности, например, через набегание туч, резко растет погрешность в результатах измерений, в том числе и при изменении как цветовой температуры источника освещения, так и зенитного угла Солнца.

Для устранения этих эффектов в последнее время разработаны двухканальные спектрометры, которые оперативно проводят измерение сигнала в информационном канале с одновременным учетом характера изменения сигнала в опорном канале.

Известный портативный полевой двухканальный спектрометр модели HandySpec® Field Feldspektrometer фирмы tec 5 AG, Германия [25]. Он разработан специально для фермеров, поскольку предоставляет информацию как о состоянии полей, так и об их потребностях. Прибор выполнен на базе 2-х идентичных спектрометров Zeiss MMS 1 с единственной сенсорной головкой и входными световыми каналами.

Это полевое устройство имеет входные оптические блоки информационного и опорного каналов, в каждом из двух составных спектрометров идентично использованы: свой диспергирующий элемент (дифракционная решетка), оптически расположенная между входным и исходным коллиматорами, в фокальных плоскостях которых соответственно расположенные: своя входная щель и свой 45 фотоприемный блок с линейчатым набором дискретных чувствительных элементов. Оба фотоприемных блока электрически связанные с электронными блоками обработки и сохранения результатов измерений. Апертурный угол рабочего канала - 25°. Рабочий спектральный диапазон - 360-1100 нм. Спектральная разрозненность $\delta\lambda=3,3\text{нм}/\text{о}^3\text{крел}^0$. Однако, указанные спектрометры имеют такие недостатки:

1. Спектрометр модели HandySpec® Field Feldspektrometer фирмы tec 5 AG выполнен на базе двух спектрометров Zeiss MMS 1, каждый из которых (как отдельное средство измерения) имеет свою аппаратную погрешность измерений. Потому при коррекции информационного сигнала дополнительная погрешность вносится в результат измерения.

2. Спектрометр модели HandySpec® Field Feldspektrometer фирмы tec 5 AG не дает возможности получать достоверные значения коэффициентов отражения при значительном изменении угла падения освещающего потока (зенитных углах Солнца) и изменении цветовой температуры источника освещения, поскольку существует нелиней-

ность закона передачи информации в плоскость входной щели.

3. Спектрометр модели HandySpec® Field Feldspektrometer фирмы tec 5 AG хотя и имеет поле зрения входного объектива 25° , но поле зрения сенсора в плоскости объекта измерения формируется в виде узкого прямоугольника с длиной намного большей, чем его ширина и таким образом угол 25° - остается лишь в одной проекции. Это создает неудобства при измерениях и значительно снижает площадь оценивания, что снижает степень усреднения измеряемых величин в растительной сени, которые варьируют благодаря фактору биомногообразия.

4. Спектрометр модели HandySpec® Field Feldspektrometer фирмы tec 5 AG обладает разрешающей способностью, что может мешать при использовании методов с применением деривативных вегетационных индексов растительности $\lambda\delta=3,3\mu\text{m}$.

5. В спектрометре модели HandySpec® Field Feldspektrometer фирмы tec 5 AG отсутствующий визуальный канал (видоискатель) для наведения и определения границ объектов измерения.

Существуют и отечественные разработки спектрометров для оценивания состояния сельскохозяйственных угодий. Так полевой спектрометр для тестирования состояния растительности [26] содержит входной оптический блок информационного канала объединенный со входным коллиматором, диспергирующий элемент, который имеет вид нестандартной дифракционной решетки, но фотоприемный блок, который выполнен в виде фоточувствительной матрицы, является

общим для информационного и опорного каналов, часть матрицы оптически связана через верхнюю часть диспергирующего элемента с опорным каналом, что содержит оптическую деталь с высоким коэффициентом диффузного рассеивания, а другая часть матрицы связана с информационным каналом, кроме этого, он содержит визирный канал (видоискатель), что соединен с рабочим полем зрения устройства.

Недостатком подобного устройства является невозможность подсоединения контролера для принятия сигнала в режиме реального времени для управления технологическим процессом (внесение минеральных удобрений).

Серьезной проблемой при использовании спектрометрических систем получения информации о состоянии растительности есть несомкнутые посевы в связи с сильным искажающим влиянием отражения почвы [27, 28]. При перпендикулярном измерении возникают препятствия от отражения земли и световым потоком «захватывается» меньше растительной массы. Сенсоры с перпендикулярным измерением почти не пригодны для работы с сельскохозяйственными культурами, высеваемыми с большим междурядьем. При измерении под углом, таких проблем не возникает, однако необходимый очень мощный источник светлая и измерительная оптика [29].

Функциональная схема оборудования для измерения спектрометрических свойств почвы (рис. 3).

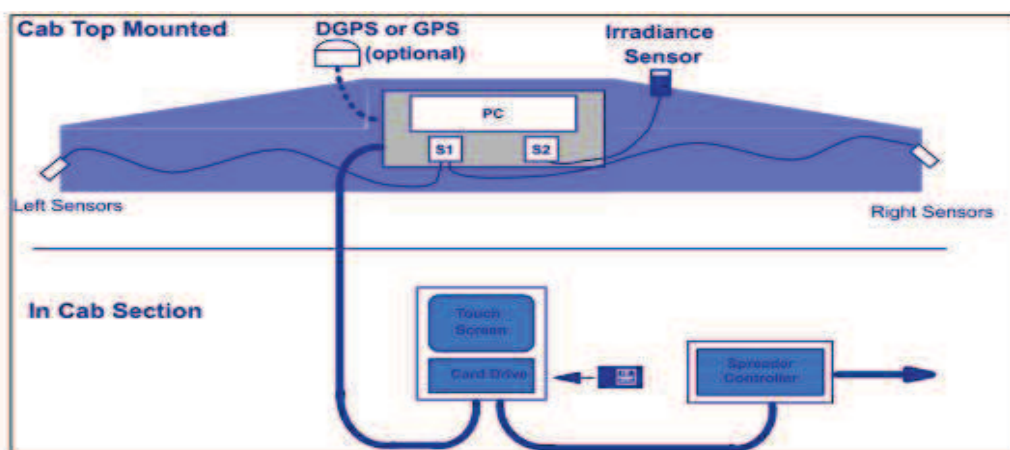


Рис. 3. Функциональная схема оборудования для измерения спектрометрических свойств почвы

Fig. 3. Functional diagram of equipment for measuring of spectrometry properties of soil



Рис. 4. Принципиальная схема реализации мониторинга, ближнего, с помощью системы технического зрения размещенной на транспортном средстве

Fig. 4. Fundamental chart is realization of monitoring, fellow creature, by means of system of technical sight placed on transport vehicle

Реализация работы системы для мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий с использованием системы технического зрения размещенной на транспортном средстве при выполнении технологической операции (рис. 4).

На основе анализа существующих систем мониторинга скомпонованная функциональная схема машины для локально-ленточного дифференцированного внесения минеральных удобрений с устройством для мониторинга вариабельности параметров сельскохозяйственного поля

Общее строение машины для локально-ленточного дифференцированного внесения минеральных удобрений с устройством для мониторинга вариабельности параметров, состоит из устройства для внесения минеральных удобрений, устройства для мониторинга содержания питательных веществ в растении, который размещаются спереди на транспортном средстве во время выполнения технологической операции сигнал от которого попадает на контролер, что контролирует работу устройства индивидуального повода высевных аппаратов, при этом возможная запись данных на PC card с магнитным носителем от устройства для определения измерения оптической спектрометрии растительности (картограмма задания) и реализации локально-ленточного дифференцированного внесения минеральных удобрений (картограмма реализация), что дает возможность обеспечить оптимальную норму внесения питательных веществ в почву с использованием данных от двух систем мониторинга.

Таким образом, функциональная схема устройства для при выполнении технологической операции будет иметь вид изображенной на рис. 5. Машина состоит из транспортного средства 1, машины для внесения минеральных удобрений 2, устройства для измерения оптической спектрометрии растительности 3, которые размещаются спереди на транспортном средстве, контролер 4, устройства для индивидуального повода рабочих элементов машины для внесения минеральных удобрений 5, PC card с магнитным носителем электронной карты 6, приемника сигналов спутниковой навигационной системы DGPS 7.

Машина (рис. 5) работает следующим образом: при перемещении транспортного средства 1 с машиной для внесения минеральных удобрений 2, что размещается сзади транспортного средства 1, устройства для измерения оптической спектрометрии растительности 3, которые размещаются впереди транспортного средства обеспечивают проведение операций мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий. Контролер 4 получает данные от устройств для мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий и руководит индивидуальным поводом рабочих элементов машины для внесения минеральных удобрений. Данные получены от устройств для мониторинга о содержании питательных веществ в почве записываются на PC card с магнитным носителем электронной карты 6 с привязкой к координатам местонахождения с помощью системы DGPS 7.

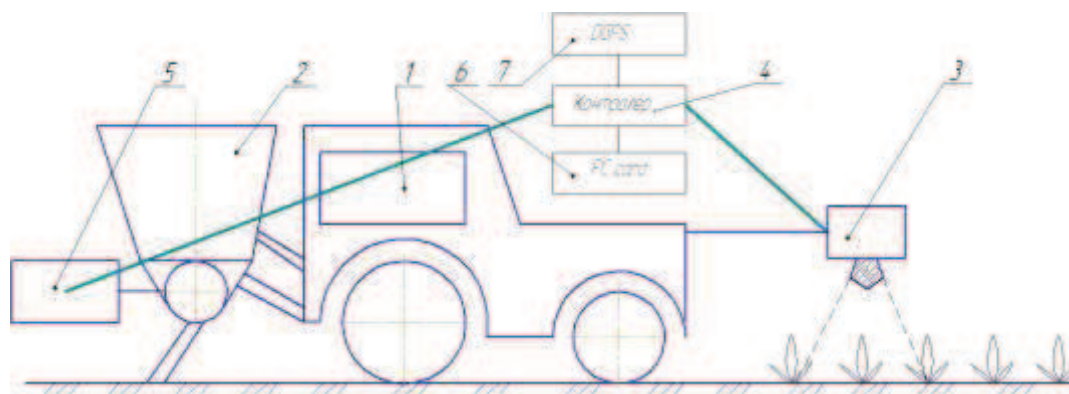


Рис. 5. Функциональная схема машины для локально-ленточного дифференцированного внесения минеральных удобрений с устройством для мониторинга variability параметров сельскохозяйственного поля

Fig. 5. Functional diagram of machine for locally-band differentiated bringing of mineral fertilizers with device for monitoring of variability of parameters of agricultural field

PC card с магнитным носителем электронной карты 6 возможная запись данных от устройства для мониторинга (картограмма задания) и реализации переменных норм внесения минеральных удобрений (технологического материала) (картограмма реализация) – электронная карта.

Предложенная машина для локально-ленточного дифференцированного внесения минеральных удобрений с устройством для мониторинга variability параметров сельскохозяйственного поля позволяет обеспечить дифференциальное внесение минеральных удобрений на основе данных мониторинга агробиологического состояния растительной среды путем измерения спектров отражения растительности для обеспечения подбора оптимальной площади питания растений из учета пространственной неоднородности почвенного покрова и позволяет сэкономить 10-25% посевного материала и способствует повышению урожайности сельскохозяйственных культур в среднем на 10-20 ц/га.

ВЫВОДЫ

Мониторинг variability параметров сельскохозяйственного поля – важная составляющая современного сельскохозяйственного производства, которая дает возможность обеспечить надлежащие качества выполнения технологических операций, а

соответственно и надлежащую эффективность сельскохозяйственного производства.

На основании анализа систем мониторинг состояния сельскохозяйственных угодий, установлены тенденции развития систем мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий. В частности, рациональной системой мониторинга состояния сельскохозяйственных угодий является использование сенсорных систем мониторинга – полевых спектрометров. Использование таких систем дает возможность обеспечить дифференцированное внесение технологического материала (удобрений, семян) и повысить качество технологического процесса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kompleksniy 2011: Kompleksniy pokaznik yefektivnosti sistemi mashin v roslinnitstvi. // V. Dubrovin, E. Krasowski, I. Rogovski/-Motrol. tom 3, 20 – 24.
2. R. Houborg and E. Boegh 2008: "Mapping leaf chlorophyll and leaf area index using inverse and forward canopy reflectance modeling and SPOT reflectance data," Remote Sensing of Environment, vol. 112, 186-202.
3. Perspektivi 2011: Perspektivi vikoristannya bezpilotnikh litalnikh aparativ u silskomu gospodarstvi Ukraini. // V. Myronenko, S. Maranda. – Motrol. Tom 3, 25 – 35.
4. M. Lieschnegg, et al. 2010: "Non-invasive characterization of total hip arthroplasty by means of passive acceleration measurement,"

УСТРОЙСТВО ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПОЛЯ

- International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, vol. 3, 75-87, March
5. Robot 2002: Robot Control using Machine Vision / [J. Blasco, N. Aleixos, J. Roger, G. Rabatel, E. Molto] // Biosystems Engineering. – № 83.– 149–157.
6. Parshina O.I. 2005: DZZ – sovremennyy instrument kontrolya i upravleniya / O.I. Parshina, A.Yu. Pankratov // Novosti nauki i tekhniki. – noyabr - dekabr. – 30–32.
7. R. R. Pullanagari and I. Yule. 2009: "Use of Reflectance Sensors to Optimise Nutrient Management," in Nutrient Management in a Rapidly Changing World, Palmerston North, New Zealand. 70-79.
8. Osnovi 2009: Osnovi metodologii monitoringu agroresursiv ta prognozuvannya vrozhaynosti silskogospodarskikh kultur za proyektom MARS / V. Kravchuk, N. Serdyuchenko, O. Kovtunenکو [ta in.] // Tekhniko-tehnologichni aspekti rozvitku ta viprobuvannya novoi tekhniki i tekhnologiy dlya silskogo gospodarstva Ukraini: zb. nauk. prats. – Doslidnitske. – № 13(27). – 3–14.
9. A Special 2006: A Special Vegetation Index for the Weed Detection in Sensor Based Precision Agriculture. Avtory:Langner, Hans-R.1 hlangner@atb-potsdam.de Böttger, Hartmut1 Schmidt, Helmut1// Environmental Monitoring & Assessment; Jun Vol. 117 Issue 1-3, 505-518.
10. Integrovana 2009: Integrovana sistema kerovanogo zemlerobstva – neobkhidniy zasib novitnikh tekhnologiy / V. Kravchuk, S. Lyubchenko, V. Voynovskiy, V. Serbiy // Tekhnika i tekhnologii APK. – № 1 (veresen). – 32–34.
11. Sirotinko O.V. 1998: Sistema ayerokosmichnogo silskogospodarskogo agromonitoringu. Sistema doslidzhennya ta modelyuvannya v zemlerobstvi / O.V. Sirotinko // Zb. nauk. prats. – K.: Niva. – 286–293.
12. Geografichni 2003: Geografichni informatsiyeni sistemi / [za redaktsieyu prof. M. Van Mervina, dots. S. S. Kokhan]. – Kiev: NAU. – 207 – (Robotu napisano v ramkakh proyektu Tempus–Taxis).
13. Posudin Yu.I. 1989: Lazernaya fotobiologiya / Posudin Yu.I. – K.: Vishcha shk. – 246.
14. Posudin Yu.I. 1995: Biofizika / Posudin Yu.I. – K.: Urozhay. – 224.
15. Lazernaya 1992: Lazernaya tomografiya rastitelnosti / V.A. Kanevskiy , K.M. Sytnik, Yu.K. Ross, Yu.R. Shelyag-Sosonko. – K.: Institut botaniki AN Ukrainy – 22.
16. P. Williams and K. Norris 1987: Near-infrared technology in the agricultural and food industries. MN 55121, USA: American Association of Cereal Chemists, Inc.
17. Y. Ozaki, et al. 2005: "Spectral analysis," in Near infrared spectroscopy in food science and technology, Y. Ozaki, et al., Eds., ed New Jersey: Wiley-Interscience, John Wiley & Sons, Inc.: Hoboken.
18. R.R. Pullanagari, I.Yule, W. Korol, d. Dalley, R. Dynes 2011: The use of optical sensors to estimatr pastore quality, Internal Journal on smart sensing and intelligent system, vol. 4, no 1, march. – 125-137.
19. Deklaratsiyeni 2003: Deklaratsiyeni patent na vinakhid № 55582 A, MPK A01C 15/00 (2006.01).Mashina dlya diferentsiyovanogo rozsiyuvannya doz riznikh vidiv mineralnikh dobriv v zalezhnosti vid vmistu ikh analogiv u grunti, opubl. 15.04.2003, byul. № 4, Adamchuk V.V.; Moyseyenko V.K.
20. http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2010/2/st_19.doc.
21. <http://www.apogeeinstruments.com>.
22. <http://www.spectravista.com>.
23. <http://www.photonics.com/Article.aspx>
24. <http://www.tec5.de/deutsch/products/spectr systems/handyspec /index.html>.
25. Patent 2012: Patent na korisnu model № 70505, MPK G01T 7/00. Poloviy spektrometr dlya testuvannya stanu roslinnosti. Opub.:11.06.2012, Byul.№ 11, Vinakhidniki: Kochubey S.M., Donetsk V.V., Kazantsev T.A.
26. R. A. Viscarra Rossel 2008: "ParLeS: Software for chemometric analysis of spectroscopic data," Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, vol. 90, 72-83.
27. Kochubey S. 2006: Hyperspectral Remote Monitoring of Vegetation / S.Kochubey, V.A. Yatsenko, V.V. Donetsk, P.A. Khandriga // Space Research in Ukraine 2004-2006, The Report Prepared by the Space Research Institute of NASU-NSAU, National Space Agency of Ukraine, Kiev. – 92-96.
28. Presicion: Presicion Ag in Europe Research Centre Hanninghof Yara International ASA Duermen, Germany http://infoag.org/abstract_papers/papers/abstract_99pdf

29. E. R. Hunt, et al. 2003: "Applications and Research Using Remote Sensing for Rangeland Management," Photogrammetric engineering and remote sensing, vol. 69. – 675-694.
30. Perspektivi 2011: Perspektivi vikoristannya bezpilotnikh litalnikh aparativ u silskomu gospodarstvi Ukraini. //V.Myronenko, S. Maranda. – Motrol. Tom 3. – 25 - 35.

**SCIENTIFIC BASES OF MONITORING
OF VARIABILITY OF PARAMETERS
OF AGRICULTURAL PAUL**

Summary. Monitoring of state of agricultural lands is important direction of rise of efficiency of agricultural production by providing of quality of implementation of technological operations. The traditional laboratory methods of research costs, the heap of time is taken, and the results of measuring not at once can be got. Therefore, the rapid sensory control is needed for the evaluation of the state of agricultural lands.

Key words: exact agriculture, monitoring, agricultural lands, optical remote sensing.

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАСЛОПРЕССА НА ЕГО КАЧЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Максим Гудзенко

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15*

Maksym Gudzenko

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. В работе приведены результаты экспериментальных исследований маслоотжимных двухшнековых пресс-экструдеров. Обоснованы рациональные технологические параметры маслопресса (температура обогрева корпуса и площадь отверстий для отвода жмыха) и влияние их на его качественные и технические показатели.

Ключевые слова: растительное масло, рапс, шнековый пресс, двухвинтовой пресс-экструдер, температура обогрева корпуса, производительность.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В последнее время все более широкое применение находят альтернативные биотоплива на основе растительных масел. К таким топливам принадлежит биодизельное топливо, которое являет собой метиловые и этиловые эфиры растительных масел, наиболее распространенным из которых является рапсовое масло [1]. Растительные масла могут использоваться как жидкое биотопливо для дизельных двигателей в переработанной или переработанной к так называемым эфирам формам [2, 3]. Начальные этапы производства дизельного биотоплива соответствуют традиционным этапам получения растительных масел пищевого и технического назначения.

Прессование – основная технологическая операция извлечения масла механическим способом. В сельскохозяйственных перерабатывающих предприятиях производство растительного масла осуществляется по упрощенным технологическим схемам [4]. Поэтому линии получения растительного масла состоят из небольшого количества машин. Однако в них часто используют неоправданно энергоемкие машины, которые

потребляют значительную часть электроэнергии.

Определенное преимущество на территории постсоветских стран среди маслопрессов, начиная с середины 90-х годов XX века, получили двухшнековые пресс-экструдеры. Использование двухшнековых пресс-экструдеров в линиях производства растительного масла позволяет существенно упростить технологию переработки семян масличных культур за счет совмещения операций тепловой обработки, измельчения, формирования (гранулирования) жмыха и отжима растительного масла в одном прессе. Соответственно, количество технологического оборудования линии можно сократить (отпадает необходимость использования вспомогательного оборудования для подготовки семян масличных культур: рушки, вальцовые станки, жаровни), что безусловно выгодно при малых объемах переработки сырья. Двухшнековыми пресс-экструдерами чаще отжимают масло необрушенных семян масличных культур, реже обрушенных.

Использование экструдерной техники в перерабатывающих отраслях позволяет получить высокоэффективные мощности различной производительности [5]. Таким образом, используя этот пресс, можно создать минимаслозавод [6].

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На глубину отжима и качественные показатели масла и жмыха существенно влияет температура самого процесса прессования [7, 8]. В маслоотжимных экструзионных прессах тепло играет важную роль. Под воздействием температуры отжимаемый материал меняет свои физико-механические свойства,

меняет вязкость масла и поэтому повышенная температура материала в той или иной мере оказывает на процесс маслоотделения существенное влияние [9].

Процесс отжима маслосемян в двухшнековом пресс-экструдере происходит параллельно с постоянным поддержанием заданной температуры обогрева рабочих частей корпуса электротеновыми нагревателями. Поэтому знания и выбор оптимальной температуры обогрева корпусов позволит уменьшить энергоемкость процесса отжима масла подобным оборудованием.

Из проведенного анализа обработанных научных материалов наиболее приближенной к конструкции испытуемого образца пресса может быть работа [10], но в ней рассматривается экструзия семян сои и на выходе пресса стоит гранулирующая матрица, что есть отличием к конструкции пресс-экструдера рассматриваемого в этой статье.

В работе [11, 12] приведены результаты экспериментальных исследований определения влияния только некоторых параметров (шага витков шнекового вала, площади отверстий для отвода жмыха, частоты вращения и диаметра шнекового вала) одношнекового пресса на процентный выход масла из семян различных масличных культур. Следует отметить, что конструкция этих прессов предусматривает наличие обогревательного элемента. Однако, в материалах указанных работ отсутствуют данные о влиянии температуры во время процесса отжима масла на заявленные качественные технические показатели пресса.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Обобщить особенности строения конструкции и технических характеристик современных двухшнековых пресс-экструдеров. Подобрать рациональные технологические параметры двухшнекового пресс-экструдера такие как температура обогрева корпуса и площадь отверстий для отвода жмыха, а также обосновать их влияние на его качественные и технические показатели.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проведенный анализ литературных и патентных источников позволил обобщить особенности конструкции двухшнековых пресс-экструдеров.

Основными элементами двухшнекового пресс-экструдера (рис. 1) являются: разъемный секционный корпус (состоящий из непроницаемых секций 4 и зерных секций 5), загрузочный бункер 1, матрица 7, термопары 6, защитный кожух 2, два шнековых вала, состоящие из собственно валов 8, шнеков 9, специальных органов (групп кулачковых измельчителей-смесителей 10), шайб 11 (промежуточных колец) и конусных регулирующих насадок 12.

Нарезка шнеков имеет контактно-уплотнительный профиль, что обеспечивает принудительное перемещение материала и самоочистку рабочих поверхностей в зоне контакта.

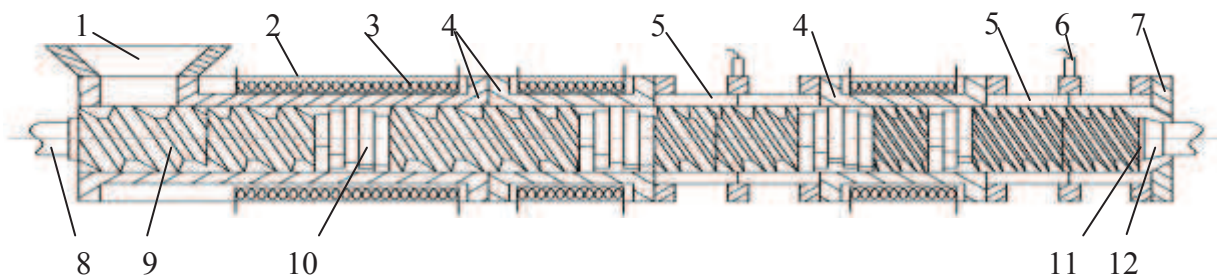


Рис. 1. Продольная часть двухшнекового пресс-экструдера:

Fig. 1. Longitudinal part of twin-screw press-extruder :

- 1 – загрузочный бункер; 2 – защитный кожух;
3 – электронагревательный элемент; 4 – непроницаемые секции корпуса; 5 – зерные секции корпуса; 6 – термопара; 7 – матрица; 8 – вал; 9 – шнеки; 10 – кулачковые измельчители-смесители;
11 – шайба; 12 – конусная регулирующая насадка.

Принцип работы установки состоит в постепенном многоступенчатом разрушении и сжатии семян двумя наборными шнеками с изменяющимся шагом и специальными измельчителями-смесителями. Двухшнековые пресс-экструдеры имеют три основные зоны. Первая зона – загрузочная, куда самотеком через бункер 1 поступают семена. Вторая зона – нагрева, в этой зоне, окольцованной снаружи нагревательными элементами (ТЭНами) 3, проходит измельчение и нагревание семян. Интенсивное кратковременное нагревание до 95 – 115 °С приводит к ослаблению поверхностных сил, удерживающих масло в мятке, и масло переходит в относительно свободное состояние. В третьей зоне, образованной зерной камерой 5, происходит непосредственный отжим и выход масла через зазоры между зерными планками [13]. В экструдере присутствуют две основные электрические схемы: привода двигателя и подогрева секционного корпуса.

Характерным признаком геометрической конфигурации шнеков является известный принцип уплотнительного профиля. Следствием которого является довольно равномерное время пребывания (время обработки) различных частиц (порций) материала в машине. Это собственно важно для материалов, чувствительных к воздействию температуры, так как исключается термическая перегрузка отдельных частиц вследствие слишком длительного времени контактирования [14].

Двухшнековые пресс-экструдеры, по сравнению с одношнековыми прессами, имеют большую фильтровальную поверхность в расчете на единицу объема материала и обеспечивают принудительное движение его в рабочей зоне. Наиболее распространение получили двухшнековые пресс-экструдеры со шнеками находящимися во взаимном зацеплении и вращающимися в одном направлении [15, 16]. В работе автора [17] приведен обзор, сравнительная оценка и анализ технического уровня маслоотжимных прессов и экструдеров которые используются в малотоннажных перерабатывающих производствах. На сегодняшний момент, ситуация с производителями двухшнековых пресс-экструдеров немного изменилась. Часть из них прекратили выпуск продукции и перепрофилировали производство, другие

наоборот, расширили модельный ряд (табл. 1). Как видно из таблицы, производят двухшнековые пресс-экструдеры в диапазоне производительности от 100 до 1000 кг / час.

Двухшнековые пресс-экструдеры непосредственно для отжима масла первыми в Украине стали производить в НПП "Экструдер" (г. Харьков).

Большинство тепла маслосодержащее сырье получает вследствие трения с шнековыми рабочими органами и корпусом при прохождении им вдоль тракта аппарата, а также само об себя. Однако, для двухшнекового пресс-экструдера и некоторых типов конструкций одношнековых прессов, чтобы обеспечить лучший выход масла нужно обеспечить как предварительный нагрев аппарата, так и нагрев (поддержание определенной величины температуры) во время отжима масла. Температурный режим пресс-экструдера может изменяться в зависимости от вида сырья (семян, ядра, мятки), их состояния и засоренности, заданной производительности пресса и типа установленных рабочих органов. Верно подобранный температурный режим экструдера в совокупности с правильно установленным соотношением оборотов шнека и дозатора производительности приводят к «нормальному» отжиму масла. Экспериментальные исследования проводились на базе пилотного завода по производству дизельного биотоплива в учебно-опытном хозяйстве НУБиП Украины "Агрономическая опытная станция". Это предприятие состоит из трех технологических линий, а именно: линий производства растительного масла ЛВРО-ЭКО-БИО, подготовки масла к этерификации ЛПРО-ЭКО-БИО и производства дизельного биотоплива ЛВДБ-ЭКО-БИО. Линия производства масла ЛВРО-ЭКО-БИО имеет в своем составе двухшнековые пресс-экструдеры (рис. 2) производства НПП "Экструдер" [18].

Опираясь на существующую информацию, а также, на основании результатов исследований предварительного изучения объекта было выбрано два основных фактора, которые существенно влияют на качественные и технические показатели работы пресс-экструдера: 1) температура обогрева корпуса – T (°С); 2) выходной зазор в матрице – b (мм).

ВЛИЯНИЕ НЕКОТОРЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ МАСЛОПРЕССА НА ЕГО КАЧЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

Таблица 1. Основные технические характеристики двухшнековых пресс-экструдеров
Table 1. Basic technical descriptions of twin-screw presses-extruders

Производитель	Марка пресса	Производительность, кг/час	Выход масла, %	Остаток масла в жмыхе, %	Установленная мощность, кВт		Потребляемая мощность, кВт	Масса, кг
					двигателя	нагревателей		
НВО „Экструдер” г.Харьков, Украина	ЭК-75/1200	175	до 42	-	7,5	12	15	700
	ЭК-105/1500	350	36-42	-	11	24	35	1250
	ЭК-130/2000	1000	36-42	-	30	42	46	2500
ЗАО РНВП „Укрэкспо-Процес”, г.Киев, Украина	УЕП - 100	100-110	-	8-10	5,5	8	9	450
	УЕП - 150	150-170	-	10-12	7,5	11	15	650
	УЕП - 250	220-250	-	12-14	11	15	21	950
	УЕП - 450	400-450	-	12-14	15	20	29	1500
ОАО"Универсальный механический завод" г.Кировоград, Украина	УПСП-200	до 250	до 40	-	7,5	9	-	-
ООО „Луч”, г.Белгород, Россия	УММП-1М-50	330	до 42	-	18,5	12	-	1100
	УПМ-1	180-200	до 40	-	11	12	-	700
АО«Алиментармаш» г.Кишинев, Молдова	М8-МПД	120-150	-	9-12	7,5	-	-	-



Рис. 2. Общий вид пресс-экструдеров линии производства растительного масла ЛВРО-ЭКО-БИО

Fig. 2. General view of presses-extruders of line of production vegetable butter of ЛВРО-ЭКО-БИО

Для реализации эксперимента использована методика математического планирования, а за основу был выбран центральный композиционный план второго порядка [19].

Согласно паспортных данных завода изготовителя для семян рапса температура в рабочей зоне предпочтительна в пределах 115-150 °С.

Уровень температурного варьирования избран на основе анализа теоретических и экспериментальных данных предварительно проведенных исследований.

Поэтому, нами были установлены следующие пределы нагрева соответственно первой и второй зоны корпусов секций обогрева: 1) 110-115 °С, 2) 120-125 °С, 3) 130-135 °С.

Регулирование температуры осуществляется при помощи системы тепловой автоматики, состоящей из комплекта терморпар, датчиков мощности и аппаратуры управления. Данные температуры зон нагрева корпусов вводились и контролировались через заводской пульт управления. После изменения заданной температуры нагрева (в сторону увеличения) выжидали определенное время, чтобы температура обеих зон уравнилась и пресс перешел в стабильный режим работы.

Величину зазора b между матрицей и конусными втулками устанавливали с помощью набора шайб в 8, 10 и 12 мм, что обеспечивало средний размер толщины жмыха соответственно в 2-2,5, 3-3,5, 5-5,5 мм.

Регулировка зазора между конусными втулками и втулкой матрицы в двухшнековом пресс-экструдере ЕК-75/1200 (НПП "Экструдер", г. Харьков) осуществляется путем установки (снятия) дополнительных шайб (компенсационных колец):

а) между конусной втулкой и последним шнеком;

б) между шнеками и кулачковыми измельчителями-смесителями.

Вышеприведенные регулирования имеют один недостаток, регулирование осуществляется при выключенном прессе и невозможным осуществлением замены «на ходу».

Схему установки шайб и регулировки конусных втулок пресс-экструдера представлено на странице 391 книги [20].

Как сырье в исследованиях принимали семена рапса влажностью 6,3-6,5 %. Температура окружающей среды в цехе была 33 °С. Опытные образцы прессов имели наработку переработки семян в 150-200 тонн. Частота вращения валов на первом этапе исследований составляла 42 об/мин (установленная на заводе) и во время исследований не менялась.

Регулировать производительность изменением числа оборотов шнекового вала следует только в крайнем случае. Объясняется это тем, что при увеличении скорости вала увеличивается мощность, нужная для работы пресса, и уменьшается время пребывания мезги в зере, что повышает масличность жмыховой ракушки [21].

В результате обработки полученных опытных данных на персональном компьютере с использованием программы STAT и STATISTICA-6 было получено ряд уравнений регрессии, адекватно описывающих технологический процесс отжима растительного масла двухшнековым пресс-экструдером.

Зависимость выхода масла V (%) от температуры обогрева корпуса T и от величины зазора b описывается уравнением:

$$V = -127.7 + 17.5b + 1,195T - 0.87b^2 - 0.005T^2,$$

Графически эта зависимость при частоте вращения валов в 42 об/мин представлена на рис. 3.

Зависимость величины производительности Q (кг/ч) от температуры обогрева корпуса T (°С) и от величины зазора b (мм) описывается уравнением:

$$Q = +179.06 - 6.418b + 0.393b^2 + 0.007bT,$$

Графически эта зависимость представлена на рис. 4.

Анализ приведенных данных (рис. 3) показывает, что при минимальной величине зазора $b = 8$ мм, выход масла при всех температурных режимах был минимален в связи с уменьшенной пропускной способностью пресса (см. рис. 4). Дальнейшее увеличение зазора до 10 мм приводит к увеличению пропускной способности пресса (рис. 4) и, соответственно, выхода масла (рис. 3).

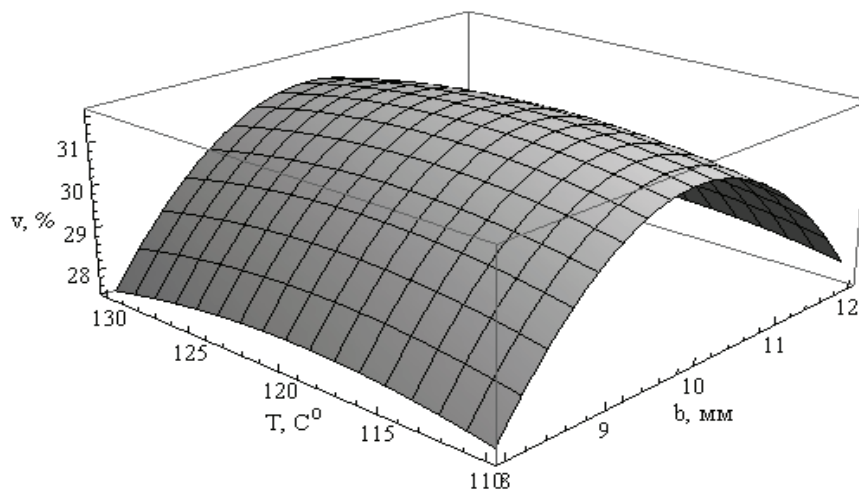


Рис. 3. Зависимость выхода масла V (%) от температуры обогрева корпуса T и от величины зазора b

Fig. 3. Dependence of output of butter of V (%) on the temperature of heating of corps of T and from the size of gap of b

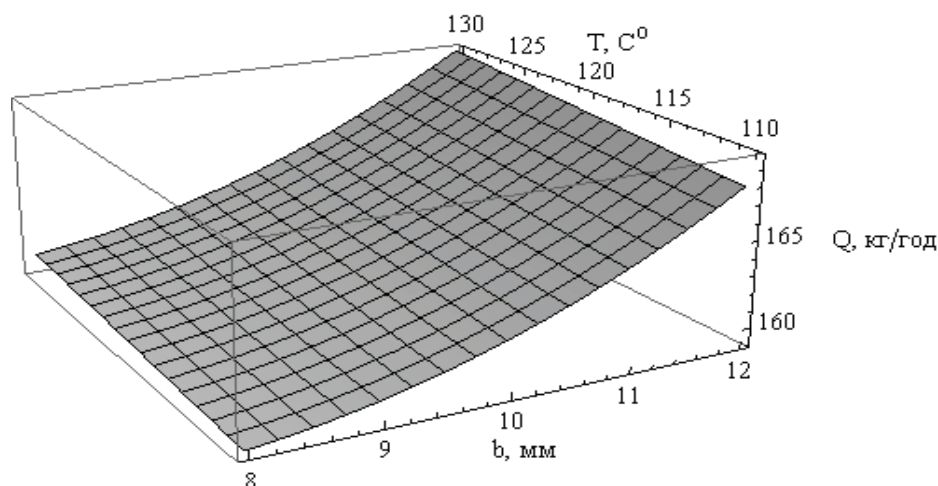


Рис. 4. Зависимость величины производительности Q (кг/ч) от температуры обогрева корпуса T (°C) и от величины зазора b (мм)

Fig. 4. Dependence of size of productivity of Q (kg/of ч) on temperature of heating of corps of T (°C) and from size of gap of b (mm)

Анализ приведенных данных (рис. 3) показывает, что при минимальной величине зазора $b = 8$ мм, выход масла при всех температурных режимах был минимален в связи с уменьшенной пропускной способностью пресса (см. рис. 4). Дальнейшее увеличение зазора до 10 мм приводит к увеличению пропускной способности пресса (рис. 4) и, соответственно, выхода масла (рис. 3).

Однако при последующем увеличении зазора до 12 мм, выход масла уменьшается (рис. 3) в связи с увеличенным выходным отверстием, давление на маслосодержащее сырье уменьшилось, что и привело к непол-

ной отдачи масла мезгой. В то же время, общая производительность (пропускная способность) пресса продолжает увеличиваться (рис. 4) в связи с уменьшением сопротивления перемещения жмыха на выходе из пресса, что приводит к увеличению ее масляниности (остаток масла в жмыхе увеличивается).

Следует отметить, что на холодном не разогретом прессе невозможно обеспечить формирование прочной структуры лепестков жмыха и достаточный выход масла, а перегрев материала приводит к уменьшению выхода масла, ухудшению качества масла и жмыха, ухудшению показателей работы

пресса. Так при изменении температуры масла от 110 °С до 130 °С (при постоянном зазоре 10 мм) выход масла сначала увеличивается до температуры 123 °С, достигая своего максимального значения (31.6%), а затем уменьшается.

При увеличении температуры нагрева секций корпусов с 110 °С до 130 °С при постоянном зазоре $b = 10$ мм наблюдается незначительное увеличение производительности пресса от 161,9 до 163,3 кг/час, что связано с уменьшением общей вязкости мезги и увеличением ее текучести.

Опираясь на полученные уравнения регрессии и их графическое отображение (рис. 3, 4) можно отметить, что при температуре в 123 °С и зазоре 10 мм получен максимальный выход масла 31,6 %, и достаточно необходимую производительность пресса, которая составляет 162,8 кг/ч.

ВЫВОД

Приведен краткий обзор особенностей строения конструкции и технических характеристик современных двухшнековых пресс-экструдеров.

На основе экспериментальных данных получены уравнения регрессии, которые позволяют определить влияние изменения температуры обогрева корпуса и установленного зазора между матрицей и конусными втулками (площади отверстий для отвода жмыха) на качественные и технические показатели работы двухшнековых пресс-экструдеров.

Определенные и обоснованные рациональные технологические параметры пресс-экструдеров переданы руководству ННВЛ дизельного биотоплива и рекомендованы к применению на производстве.

Несмотря на описанные технико-технологические преимущества перед одношнековыми прессами, на сегодня производством, исследованием и усовершенствованием двухвинтовых пресс-экструдеров занимаются лишь единицы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Zakharchuk V., Tkachuk V. 2010: Biodizelnoye toplivo na osnove izopropilovykh

efirov rapsovogo masla // Motrol. Motorization and power industry in agriculture. – Lublin. – Vol. 12. 188-193.

2. Biopaliva 2004: Biopaliva (tehnologii, mashini i obladnannya) / [V. Dubrovin, Korchemniy M.O., Maslo I.P. ta in]. – K.: TsTI „Energetika i yelektrifikatsiya”. – 256.

3. Polishchuk V., Dubrovin V., Polishchuk A. 2012: Alternativnyye dizelnyye topliva // Motrol. Commission of motorization and Energetics in agriculture. – Lublin-Kiev-Simferopol-Mykolaiv-Lviv-Rzeszow. – Vol. 14, No 3. – 20-31.

4. Gudzenko M.M. 2007: Mashinni tehnologii virobnitstva roslinnikh oliy v umovakh silskogospodarskikh pidpriemstv maloi potuzhnosti // Naukoviy visnik Natsionalnogo agrarnogo universitetu. – Vip. 107. – 348-355.

5. Vinogradov M.G., Burdyugov S.I., Grokhotov A.F. 1998: Ekstrudernaya tekhnika v maslzhirovoy promyshlennosti // Maslozhirova promyshlennost. – №2. – 24-25.

6. Koshevoy Ye.P. 2001: Tekhnologicheskoye oborudovaniye predpriyatiy proizvodstva rastitelnykh masel – SPb.: GIORД. – 368.

7. Shcherbakov V.G. 1992: Tekhnologiya polucheniya rastitelnykh masel. – M.: Kolos, – 207.

8. Pod red. Kopeykovskogo V.M. i S.I. Danilchuk. 1982: Tekhnologiya proizvodstva rastitelnykh masel. – M.: Legkaya i pishchevaya promyshlennost. – 416.

9. Ospanov A.B., Dzhingilbayev S.S., Yergaliyeva S. 2008: Vyyavleniye osnovnykh termodinamicheskikh pokazateley raboty ekstruzionnykh maslotzhimnykh pressov // Pishchevaya tekhnologiya i servis. – №4. – 28-31.

10. Gerashchenko V.N., Kudrin Yu.P., Tolchinskiy Yu.A., Klyuchkin V.V., Savus A.S., Kharitonov B.A. 1991: Ekstruziya semyan soi na dvukhchervyachnom ekstrudere // Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya. – №1-3. – 129-131.

11. Gritsenko V.T. 2000: Vliyaniye nekotorykh parametrov press-ekstrudera na tekhnologicheskiye pokazateli protsessa otzhima masla iz semyan maslichnykh kultur // Naukovo-tekhnichniy byuletен Institutu oliynikh kultur UAAN. – Zaporizhzhya. – №. 5. – 205-208.

INFLUENCE OF SOME
TECHNOLOGICAL PARAMETERS
OF SCREW OIL-PRESSES ON ITS
QUALITATIVE AND TECHNICAL
INDICATORS

12. Kovalyshyn S.Yo, Tomjuk V.V. 2011: Optimization of oil press parameters // Motrol. Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. – Lublin. – Vol. 13. – 173-182.
13. Tekhnika 2010: Tekhnika i tekhnologii proizvodstva i pererabotki rastitelnykh masel : uchebnoye posobiye / S.A. Nagornov, D.S. Dvoretzkiy, S.V. Romantsova, V.P. Tarov. – Tambov: Izd-vo GOU VPO TGTU. – 96.
14. German Kh. 1975: Shnekovyye mashiny v tekhnologii / Per. s nem.; Pod red. M.P. Fridmana. – L.: Khimiya. – 229.
15. Kudrin Yu.P. 1997: Cherv'yachni mashini v tekhnologii virobnitstva olii. – K.: IZMN. – 144.
16. Shenkel G. 1962: Shnekovyye pressy dlya plastmass / Per. s nem.; Pod red. A.Ya. Shapiro. – L.: GNTIKhP. – 467.
17. Datsishin O.V., Gudzenko M.M. 2007: Porivnyalna otsinka olievidzhimnikh presiv. // Naukoviy visnik Natsionalnogo agrarnogo universitetu – Vip. 117. – 224-233.
18. Bioenergiya 2009: Bioenergiya v Ukraini – rozvitok silskikh teritoriy ta mozhlivosti dlya okremikh gromad: Naukovo-metodichni rekomendatsii shchodo vprovadzhennya peredovogo dosvidu agrarnikh pidpriemstv Polshchi, Litvi ta Ukraini zi stvorenniya novitnikh ob'ektiv bioenergetiki, yefektivnogo virobnitstva i vikoristannya biopaliv: [Nauk.-metod. rekomend.] / [V.O. Dubrovin, M.D. Melnichuk, Yu.F. Melnik, V.G. Mironenko ta in.]. – K.: Natsionalniy universitet bioresursiv i priroдокористuvannya Ukraini; Institut budivnitstva, mekhanizatsii ta yelektrifikatsii silskogo gospodarstva, Polshcha, Institut agrarnoi inzhenerii, Litva. – 122.
19. Nalimov V.V. 1982: Tablitsy planov eksperimenta. – M.: Metallurgiya. – 751.
20. Datsishin O.V., Tkachuk A.I., Gvozdev O.V. 2008: Tekhnologichne obladnannya zernopererobnikh ta oliynikh virobnitstv / Za redaktsieyu O.V. Datsishina. Navchalniy posibnik. – Vinnitsya: Nova kniga. – 488.
21. Dzhingilbayev S.S., Rakhmetov O.M. 2010: Puti uvelicheniya proizvoditelnoy raboty maslootzhimnykh shnekovykh press-ekstruderov // Pishchevaya tekhnologiya i servis. – №2. – 24-27.

Summary. The results of experimental researches of twin-screw extruder for oil pressing are given in work. Rational technological parameters of oil press (heating temperature of frame and area of the holes to remove cake) and their influence on its quality and technical performance are proved.

Key words: vegetable oil, rapeseed oil, screw press, twin-screw extruder, temperature of the heating body, performance.

МЕТОДИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ МАШИННЫХ АГРЕГАТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ПОСЕВА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Владислав Зубко¹, Виктор Онычко¹, Татьяна Хворост¹, Вячеслав Чуба²

¹Сумской национальной аграрный университет

Украина, г. Сумы, ул. Кирова, 160

²Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15

Vladyslav Zubko¹, Viktor Onychko¹, Tetyana Hovorost¹, Vyatcheslav Chuba²

¹Sumy National Agrarian University

Kyrova Str., 160, Sumy, Ukraine

²National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Статья посвящена вопросу повышения эффективности выращивания сельскохозяйственных культур, за счет выполнения правильного выбора составляющих машинных агрегатов по технико-экономических и технологических требований, на примере обеспечения реализации биологических возможностей озимой пшеницы.

Ключевые слова: сельскохозяйственные машины, показатель качества, сохранение биологической урожайности.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Выбор технологического шлейфа машин для выращивание сельскохозйственных культур, с учетом современного разнообразия машин является довольно сложной задачей.

Проблема заключается в том, что для проведения технологических операций нужно выбрать рациональный машинно-тракторный агрегат, который будет имеет высокую производительность, при низких стоимости и эксплуатационных затратах, при этом он должен обеспечивать необходимые оптимальные условия исходя из биологических потребностей растения.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В технологии производства сельскохозяйственных культур механизация технологических процессов занимает особое место.

В научных трудах Погорелого Л.В. [1], Натанзон И.И. [2], Финна Э.А. [3, 4], Диденко Н.К. [5], Мельника И.И. [6] и других были глубоко исследованы вопросы комплектования машинных агрегатов для обоснования рациональных комплексов машин и машинного парка. Разработаны методики обоснования рационального состава комплекса машин для производства сельскохозяйственных культур с учетом различных критериев оптимизации, но очень мало внимания уделено качеству выполнения механизированных технологических операций.

При этом исследования В.Г. Мироненка показали, что, например, качество проведения посева обеспечивает прирост урожая до 15% [7]. Сегодня, как никогда, актуален вопрос обновления машинного парка сельскохозяйственных предприятий. По результатам исследований Я.Н. Михайловича количество дееспособных тракторов с 2003 года сократилось на треть и сегодня составляет почти 100 тыс. единиц. Также установлено, что имеющиеся в хозяйствах с.-х. машины не имеют оптимальных условий хранения, что снижает их срок эксплуатации [8]. Исследованиями А.А. Демка установлено, что количество комбайнов не отвечает потребности, а имеющиеся – предельно устаревшие и изношенные, что ведет к снижению урожая во время уборки культур [9]. От того, на сколько показатели качества машинных агрегатов будут отвечать требованиям с.-х. культур, будет зависеть эффективность обновления машинного парка, а следовательно и эффективность хозяйствования, влияние на экологию.

МЕТОДИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ МАШИННЫХ АГРЕГАТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ПОСЕВА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

гию, и наследство будущему поколению.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является представление методики оценки соответствия с.-х. машины оптимальным условиям для развития растения и сравнения различных машинных агрегатов по технико-экономическим показателям.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В условиях индустриализации земледелия, внедрения новой техники и интенсивных технологий важным резервом повышения валового сбора сельскохозяйственных культур и снижения потерь продукции является правильное использование машинных агрегатов и улучшение качества выполнения механизированных полевых работ [10].

Каждый посевной материал с.-х. культуры имеет свой показатель максимальной биологической урожайности. И какой бы прогрессивной не была технология производства продукции растениеводства, увеличить урожайность за пределы биологической не представляется возможным. Поэтому целесообразно говорить исключительно о достижении максимальной биологической урожайности культуры.

Определяющим фактором при этом является обеспечение «комфортных условий» во время роста и развития растения. Это достигается путем создания оптимальной нормы каждого показателя, который обеспечивает с.-х. машина (таблица 1). Один и тот же процесс может характеризоваться несколькими показателями. Так, качество предпосевной обработки грунта оценивают по глубине, равномерности глубины, выравненности поверхности, степени подрезания сорняков, отсутствия огрехов, качества обработки поворотных полос и краев поля и др. [11, 12, 13]. По результатам многолетних исследований института сельского хозяйства Северовостока НААН Украины, выполнение механизированных технологических операций, в соответствии с агротребованиями и в установленные агросроки, дает увеличение валового

сбора урожая, равную надбавке, получаемой от внедрения интенсивных технологических выращиваний сельскохозяйственных культур. На основе результатов проведенных исследований, выполнен анализ всех показателей, характерных для каждой механизированной технологической операции предпосевной обработки грунта и посева, установлены те, которые наиболее существенно влияют на сохранение урожайности и проведено их ранжирование (показатели представлены по степени влияния на сохранение урожайности и, соответственно этому, им присвоены баллы). Качество работы оценивают по девятибалльной шкале. В зависимости от количества набранных баллов работу оценивают следующим образом: 8-9 баллов – отлично, 6-7 – хорошо, 4-5 – удовлетворительно, 3 балла и ниже – неудовлетворительно.

Качество выполняемых полевых работ зависит от конструктивных особенностей с.-х. машины, ее соответствия технологической операции, регулировочных параметров и технического состояния машины, а также от условий работы: физико-механического свойства грунта, рельефа местности, густоты стояния растений, непостоянством качества работы из-за разного технического состояния машины, а также условиями обработки на этапе предварительных операций, показателями, обусловленными последующими процессами обработки почвы.

По каждому показателю устанавливают допустимое отклонение (допуск). Для обоснования допусков использованы экспериментальные данные научно-исследовательских учреждений и машиноиспытательных станций [14, 15, 16, 17, 18].

В таблице 1 приведены показатели и нормы определения качества выполнения механизированных технологических операций для выращивания озимой пшеницы и шкала их оценки. Для проведения анализа зависимости технико-эксплуатационных показателей и показателей качества машинных агрегатов от почвенно-климатических условий и условий хозяйства были задействованы современные энергетические средства и сельскохозяйственные машины,

Таблица 1. Данные для определения показателя качества механизированных технологических операций предпосевной обработки грунта и посева

Table 1. Data for determination of index of quality of the mechanized technological operations of preseed treatment of soil and sowing

№ п/п	Операции	Показатели	Нормы	Балы
1	Предпосевная обработка грунта	Отклонение фактической глубины обработки почвы от заданной, см	±0,5	3
			±1,5	2
			Больше 1,5	0
		Высота гребней поверхности почвы, см	2,5	3
			3,5	2
			4,5	1
		Полнота срезания сорняков (на площади 10м ²), шт.	Полный срез	3
			2	2
			4	1
Больше 4	0			
2	Внесение средств защиты	Отклонение от заданной нормы внесения, %	±5	4
			±10	3
			±15	2
			Больше 15	0
		Отклонение от заданной ширины захвата, м	±0,2	3
			±0,4	2
			Больше 0,4	0
		Равномерность распыления, %	Меньше 10	2
			10–15	1
Больше 15	0			
3	Посев	Отклонение фактической глубины посева семян от заданной, %	До ±0,5	4
			±0,5-1	3
			±1-2	1
		Отклонение от фактической нормы высева семян от заданной, %	До ±8	4
			До ±10	2
			Больше 10	0
		Отклонение ширины междурядий, см	До ±2,5	1
			Больше 2,5	0

используемые при выращивании зерновых культур.

С целью приблизить расчеты к реальным условиям использовались данные по зоне Лесостепи Украины, для которой характерны длина гона 800 м, расстояние переездов в пределах хозяйства 5 км и расстояние переездов за пределы хозяйства 20 км, урожайность озимой пшеницы в пределах 50 ц/га.

При проведении расчетов была исследована работа машинных агрегатов, которые состояли из энергетических средств и сельскохозяйственных машин в соответствии с технологическими операциями предпосев-

ной обработки грунта и посева. В таблице 2 приведены результаты исследования технико-экономических показателей и показателей качества сельскохозяйственных машин, которые сегодня чаще всего используются хозяйствами при выращивании озимой пшеницы. Техничко-экономические показатели были получены благодаря методу «Комплексное машиноиспользование», который был разработан под руководством профессора Мельника И.И. Данный метод предусматривает комбинированное решение задачи обоснования состава комплексов машин [19].

Метод «Комплексное машиноиспользо-

МЕТОДИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ МАШИННЫХ АГРЕГАТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ И ПОСЕВА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

вание» состоит из шести подпрограмм FMU, FORAG, TAU, PRIMA, STROKY, GSMSS, которые в совокупности позволяют обосновать рациональные составы машинных агрегатов.

Данный метод учитывает значительное количество факторов влияния для обоснования рациональных комплексов машин и является адаптированным к современным условиям по сравнению с другими.

Предпосевная обработка почвы – это обработка которую выполняют, для создания посевного ложа с благоприятными условиями для прорастания семян, дальнейшего роста и развития растения. Она обеспечивает рыхление верхнего посевного слоя и создания уплотненного выровненного и влажного посевного ложа, чтобы семена размещались в нем и были прикрыты разрыхленным слоем почвы для лучшего доступа к нему влаги, тепла и воздуха [20]. Внесение средств защиты растений. При выращивании озимой пшеницы необходимо учитывать факторы, которые вредят её производительности. В частности это касается вредоносных организмов. Среди них различают: сорняки, вредители и болезни [18].

Среди сорняков, которые вредят озимой пшеницы выделяют: пырей ползучий, щетинник, осот полевой, василек синий и другие.

Болезни озимых имеют грибковое происхождение и сопровождаются загниванием пораженных органов растений. Существуют такие болезни как: септориоз, корневые гнили (гельминтоспориозная, фузариозная, церкоспорильозная) и т.д.

Что касается вредителей то существует много организмов которые являются вредными как во взрослом возрасте, так и в незрелом состоянии. Различают таких вредителей: гессенская муха, хлебная жужелица, хлебные жуки, клещи, нематоды и другие. Поэтому имея такое разнообразие вредоносности на озимой пшенице необходимо использовать новейшие методы защиты культуры. Поэтому внесение средств защиты данной культуры является неотъемлемой составляющей ее выращивания. Посев до сих

пор наиболее распространенным способом посева является строчный с междурядьем 15 см. Однако, в условиях недостаточной влажности на хорошо разработанных почвах преимущество имеют узкорядный и перекрестный способы посева. Кроме равномерного размещения семян на площади, эти способы снижают засоренность, уменьшают испарение влаги с поверхности почвы [14].

Производительность озимой пшеницы наивысшая при оптимальной норме высева, величина которой зависит от климатических условий, плодородия почв, предшественника, удобрения, биологических особенностей сорта, сроков и способов посева, качества семян и т.д.

На плодородных почвах, после лучших предшественников и на высших фонах удобрения норму высева необходимо уменьшать. Сорта, отличающиеся большей кустистостью, сеют с меньшей нормой, по сравнению с слабокустистыми. Считается, что норму высева можно увеличить в зоне достаточного увлажнения. На тяжелых почвах, где наблюдается низкая полевая всхожесть семян, сеют больше, а на структурных черноземах, обеспечивающих высокую полевую всхожесть, норму высева целесообразно несколько уменьшить.

Норма высева непосредственно связана со сроками сева. При посеве в ранние сроки растения хорошо кустятся и формируют нормальный стеблестой при меньших нормах высева. На поздних посевах для создания оптимального числа продуктивных стеблей на единице площади норму высева необходимо увеличивать на 10-15%.

Из анализа таблицы 3 установлено, что самым оптимальным агрегатом из представленных есть Т-150-05+АГ-6, который является самым выгодным по себестоимости и показателю качества.

Данные таблицы 4 показывают, что наивысшую производительность имеет машинный агрегат John Deer 6830+Харди ТУ при среднем расходе топлива, в то же время его прямые эксплуатационные затраты и показатели качества все же являются слишком высокими.

Таблица 2. Предпосевная обработка грунта
Table 2. Preseed treatment of soil

Машинные агрегаты	Расход топлива, кг/га	Себестоимость, грн./га	Затраты рабочего времени, час/га	Продуктивность агрегата, га/час	Показатель качества работы
ХТЗ-17021+АПБ-6	4,51	128,6	0,262	3,81	8
Т-150-05+АПБ-6	4,08	119,32	0,242	4,12	8
ХТЗ-17021+АГ-6	4,17	106,88	0,259	3,85	8
Т-150-05+АГ-6	3,73	99,19	0,241	4,15	8
John Deer 8400+Евр_Б-622	4,73	340,47	0,246	4,06	8
John Deer 8400+К600 PS	5,05	177,96	0,248	4,04	8
МТЗ-82+АГ-3	4,1	102,19	0,507	1,97	8
Белорус 892+АГ-3	4,02	101,98	0,501	1,99	8
Белорус 2022+АПБ-6	4,93	158,23	0,254	3,93	8
Белорус 2022+АГ-6	4,65	137,3	0,251	3,98	8

Таблица 3. Внесение средств защиты растений
Table 3. Bringing of facilities of defence of plants

Машинные агрегаты	Расход топлива, кг/га	Себестоимость, грн./га	Затраты рабочего времени, час/га	Продуктивность агрегата, га/час	Показатель качества работы
Белорус 892+ОП 2000-2	17,8	0,077	12,96	0,82	6
ЮМЗ-6АКЛ+ОП 2000-2	18,73	0,087	11,54	0,84	6
John Deer 6830+Харди ТУ	47,73	0,124	8,04	1,18	5
Белорус 1021+Харди ТУ	30,21	0,126	7,91	1,16	5
ЮМЗ-6АКЛ+Маххор	53,14	0,082	12,19	0,81	8
Белорус 892+Маххор	39,43	0,057	17,45	0,75	8

МЕТОДИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ
МАШИННЫХ АГРЕГАТОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ
И ПОСЕВА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Таблица 4. Посев
Table 4. Sowing

Машинные агрегаты	Расход топлива, кг/га	Себестоимость, грн./га	Затраты рабочего времени, час/га	Продуктивность агрегата, га/час	Показатель качества работы
МТЗ-82 + СУБМ-3,6	4,43	147,32	0,65	3,07	7
ЮМЗ-8240 + СПУ-4М-01	4,63	206,74	0,91	2,21	7
Белорус 892 + СЗР-5,4	4,02	155,18	0,56	3,56	5
МТЗ-82 + СПУ-4М-01	4,77	213,32	0,91	2,20	7
ЮМЗ-8240 + СЗР-5,4	3,34	148,09	0,58	3,44	5
Белорус 892+ СУБМ-3,6	4,30	140,89	0,61	3,27	7
МТЗ-82 + СЗР-5,4	3,74	154,08	0,58	3,48	5
ЮМЗ-8240 + СУБМ-3,6	4,35	148,43	0,69	2,92	7
Белорус 892 + СПУ-4М-01	4,44	208,70	0,90	2,23	7

Наименее затратным является агрегат Беларус 892+ОП 2000-2, но его показатель качества низкий, в то же время как у агрегата Беларус 892 Маххог он самый высокий при самой низкой продуктивности.

Из анализа таблицы 5 видно, что показатели себестоимости выполнения технологической операции машинными агрегатами ЮМЗ-8240 + СПУ-4М-01, МТЗ-82 + СПУ-4М-01, Беларус 892 + СПУ-4М-01 являются высокими. При этом их производительность низкая. Машинные агрегаты МТЗ-82 + СУБМ-3,6, Беларус.892 + СЗР-5,4, ЮМЗ-8240 + СЗР-5,4, Беларус 892 + СУБМ-3,6, МТЗ-82 + СЗР-5,4, ЮМЗ-8240 + СУБМ-3,6 при низкой себестоимости обеспечивают более высокую производительность. При этом показатели качества такие же, как и в других агрегатах. Они являются оптимальными для выполнения данной операции. Оптимальным является Беларус 892 + СУБМ-3,6.

ВЫВОД

Использование представленной методика

для выбора оптимальных составов комплекса машин для выращивания сельскохозяйственных культур, позволяет оптимизировать стоимость выращивания, снизить затраты на приобретение техники при обеспечении биологические требований выращиваемых растения.

Результаты анализа для озимой пшеницы показали, что при разной себестоимости машинных агрегатов они могут обеспечивать хороший уровень производительности и качества работы.

Так как машинный парк требует постоянного технического и технологического обновления – результаты анализа могут быть использованы рядовыми товаропроизводителями при выборе рациональных машинных агрегатов под конкретную потребность сельхозпредприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pogorelyy L. V. 1976: Primeneniye metodov sistemnogo analiza pri ispytaniyakh selskokhozyaystvennoy tekhniki /

- L. V. Pogorelyy, V. V. Brey // *Obzornaya informatsiya TsNIITEI V/O "Selkhoztekhnika"*. – M. : TsNIITEI V/O "Selkhoztekhnika". – 68.
2. Natanzon I. Y. 1961: *Komplektuvannya mashinno-traktornogo parku kolgospiv i radgospiv riznikh zon URSR.* / Natanzon I. Y. – K.: Vid-vo Ukr. akad. s.g. nauk. – 104.
3. Gubko V. R. 1972: *Pitannya metodiki i rezultati rozrakhunkiv mashinno-traktornogo parku na YeOM* / V. R. Gubko, Ye. A. Finn, L. M. Kozakova ; golov. red. V. S. Kramarov // *Zastosuvannya matematichnikh metodiv u doslidzhennyakh skladnikh protsesiv silskogospodarskogo virobnitstva.* – K.: Urozhay, 1972. – 10–17.
4. Gubko V. R. 1972: *Opredeleniye sostava mashinno-traktornogo parka dlya khozyaystv osnovnykh zon Ukrainskoy SSR* / Gubko V. R., Finn E. A., Varshavskiy M. L. – K.: UkrNIINTI. – 44.
5. Didenko N. K. 1980: *Obosnovaniye sostava kompleksov mashin dlya rasteniyevodstva* / N. K. Didenko, V. D. Grechkosey, I. I. Melnik // *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva.* – № 9. – 4-5.
6. Optimizatsiya 2004: *Optimizatsiya kompleksiv mashin i strukturi mashinnogo parku ta planuvannya tekhnichnogo servisu: navchalniy posibnik* / [I. I. Melnik, V. D. Grechkosiy, V. V. Marchenko ta in.]. – K.: VVTs NAU.– 151.
7. Myronenko Valentyn 2010: *Operativne keruvannya yakistyu vikonannya tekhnologichnikh protsesiv u roslinnitstvi* / V.G. Mironenko // *Motrol. Motoryzacija i energetyka rolnictva.* – Tom 12 B. – 19-26.
8. Mikhaylovich Ya., Rubets A. 2010: *Kogo turbue stan parku traktoriv* // *Propozitsiya.* – № 1. – 102 – 107.
9. Demko A., Demko O. 2009: *Yefektivnist vikoristannya mobilnoi silgosptekhniki* // *Propozitsiya.* – № 7. – 108 – 111.
10. Melnyk Ivan 2010: *Optimizatsiya parametriv roboti mashinnikh agregativ pri vikonanni polovikh robit* / Ivan Melnyk, Volodymyr Sapsay, Vladyslav Zybko // *Motrol. Motoryzacija i energetyka rolnictva.* – Tom 12 B. – 109–114.
11. *Operatsionnaya 1990: Operatsionnaya tekhnologiyavozdelyvaniya zernovykh kultur. Spravochnik* / [V.F. Sayko, N.V. Sokorenko, D.A. Dymkovych i dr.] ; pod red. V. F. Sayko. – K.: Urozhay – 312.
12. *Naukovo 2004: Naukovo obruntovana sistema vedennya silskogo gospodarstva Sumskoi oblasti* / [V.P. Shcherban, V.I. Levchenko, M.P. Bondarenko ta in.]. – Sumi: VAT «SOD» vidavnistvo «Kozatskiy val» – 662.
13. <http://www.agrotechnika-ukr.com.ua>
14. <http://sistemamis.ru/protocols>
15. <http://altmis.ru>
16. <http://kirovmmis.ru>
17. *Optimizatsiya 2004: Optimizatsiya kompleksiv mashin i strukturi mashinnogo parku ta planuvannya tekhnichnogo servisu: navchalniy posibnik* / [I. I. Melnik, V. D. Grechkosiy, V. V. Marchenko ta in.]. – K.: VVTs NAU.– 151.
18. http://pidruchniki.ws/10030712/geografiya/sistemi_obrobitku_gruntu_pid_kulturi_polovih_sivozmin
19. http://otherreferats.allbest.ru/agriculture/00125900_0.html
20. <http://vdm.nubip.edu.ua/index.php/catalog/rosl/zernovi/ozpshen.html?showall=1>

TECHNOLOGY AND ECONOMIC ASSESSING MACHINES FOR RURAL FARMS AT CONDUCT OF PROCESSING SOIL BEFORE AND SOWING AND SOWING WINTER WHEAT

Summary. Article aimed at improving the opportunities the realization biology bog water through effective uses of machines for rural economy, ones level of effectiveness effect on development of winter wheat.

Key words: machines for the rural economy, indicator of quality, the preservation biology yield.

ПРИМЕНЕНИЕ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА МЕХАНИЗИРОВАННЫХ ПРОЦЕССАХ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Александр Войналович, Михаил Мотрич, Дмитрий Кофто

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15

Aleksandr Voynalovich, Michayl Motrich, Dmitriy Kofto

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Исследована кинетика накопления эксплуатационных дефектов (трещин) в деталях узлов тракторов, что может привести к созданию внезапных аварийных ситуаций и травмированию работников сельскохозяйственного производства на механизированных, транспортных и ремонтных работах.

Ключевые слова: мобильная сельскохозяйственная техника, причины аварийных ситуаций, производственный травматизм, риск травмирования, эксплуатационные дефекты.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В настоящее время уровень обеспечения аграрного сектора Украины мобильной техникой в целом не отвечает современным требованиям сельскохозяйственного производства [1]. За последние два десятилетия имеющийся машинно-тракторный парк (МТП) сократился в 1,5-2 раза; степень его изношенности достигла 80-90 %. Значительно выросла нагрузка на мобильные технические средства, увеличились сроки выполнения сельскохозяйственных работ, что соответственно приводит к потерям урожая [2].

Больше всего обострилась проблема со снабжением села мощными тракторами, комбайнами и другой сложной техникой, высокая стоимость которой усложняет решение этой проблемы [3]. Недостаточное количество современной мобильной техники отечественного производства на полях, оснащенной техническими средствами безопасности, закупка заграничной техники, после длительных сроков ее эксплуатации, привлечение к выполнению полевых работ сельскохозяйственных агрегатов других хо-

зяйств на правах аренды при отсутствии надлежащего контроля за их техническим состоянием – все эти факторы предопределяют повышение производственного риска на механизированных процессах сельскохозяйственного производства [4-6].

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Во время выполнения производственных процессов в растениеводстве на работников действуют опасные (мобильные агрегаты, открытые вращающиеся части машин и механизмов и др.) и вредные (запыленность, повышенное содержание паров пестицидов в воздухе рабочей зоны и др.) факторы производственной окружающей среды [7, 8]. Трактора и комбайны для трактористов-машинистов являются основными источниками травмирования (50 % от всех несчастных случаев), а ходовая часть, двигатель и рабочие органы мобильных машин, – основными травмоопасными объектами [9].

В работе [10] на основании выполненных исследований был сделан вывод, что во время капитальных ремонтов сельскохозяйственных машин не восстанавливают начальные нормативные параметры условий труда соответственно таким показателям, как шум, вибрация, температура, запыленность и загазованность воздуха, герметичность кабины от сквозняков, проникновение влаги и грязи, физическая нагрузка на органы управления, освещенность. Ухудшение технического состояния сельскохозяйственной техники с увеличением сроков ее эксплуатации происходит неравномерно относительно отдельных категорий показателей условий труда [11, 12].

ПРИМЕНЕНИЕ ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ НА МЕХАНИЗИРОВАННЫХ ПРОЦЕССАХ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Механизированные работы в сельском хозяйстве нужно рассматривать как выполнение работ с повышенной опасностью. Значительная часть опасностей связана с эксплуатационными дефектами в деталях узлов мобильных сельскохозяйственных агрегатов [13-15].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Обосновать необходимость внедрения дефектоскопического мониторинга (периодического контроля) деталей и элементов конструкций тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин как мероприятия охраны труда для предотвращения аварийных ситуаций и несчастных случаев в сельскохозяйственном производстве.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Во время работы с жидкими минеральными удобрениями и пестицидами наибольший контакт с вредными веществами отмечен на вспомогательных операциях приготовления растворов, заправки машин и их дезинфекции. Для уменьшения длительности контакта работников с токсичными веществами большое значение имеет техническая и технологическая надежность машин. В случае разрушения элементов конструкций, засорения форсунок, сложной регуляции аппаратуры механизатор вынужден контактировать с токсичными веществами. В результате действия минеральных и органических удобрений, пестицидов машины для внесения этих химических веществ быстро корродируют, что снижает их надежность и увеличивает усилия на органах управления, что приводит к внезапному разрушению деталей.

Техническое обслуживание машин для возделывания почвы не характеризуется особенными сложностями. С помощью автоцепок машины легко присоединяют или навешивают на трактора. Но во время присоединения плугов, борон и других механизмов необходимым является присутствие вспомогательных работников, а это связано с опасностью их травмирования в случае пребывания в зоне движения трактора или под поднятыми (навешенными) агрегатами. Де-

фекты деталей гидравлической системы могут повлечь внезапное падение поднятых устройств или платформ и привести к тяжелым травмам.

Транспортировка крупногабаритных узлов (сеялок, жаток и др.) сельскохозяйственных агрегатов дорогами общего пользования относится к опасным операциям. И причина не только в том, что их габариты в транспортном положении усложняют встречный проезд и обгон во время движения по дорогам. В случае разрушения крепежных деталей, которые удерживают сошники, штанги и другие элементы во время транспортировки, существует большой риск дорожно-транспортных аварий и травмоопасных ситуаций.

Травматизм во время эксплуатации зерноуборочных комбайнов занимает одно из первых мест в растениеводстве. Наибольший процент травм (80 %) приходится на устранение неисправностей, на техническое обслуживание и технологическую настройку комбайна. В силу определенных обстоятельств около 70% комбайнов находятся в эксплуатации за пределами установленных сроков, и они представляют опасность для работников (комбайнеров, их помощников и слесарей-ремонтников).

Во время работы комбайнов в полевых условиях придется устранять возникшие неисправности, проводить техническое обслуживание и технологическое регулирование. Многие операции технического обслуживания являются неудобными, сложными, трудоемкими. Такие работы должны выполнять специально обученные слесари-ремонтники. Но ремонтными работами в поле часто приходится заниматься механизаторам. Травматизм этой категории работников одним из самых высоких среди профессий в растениеводстве.

Для разработки рекомендаций относительно ограничения эксплуатации МТА, в деталях которых могут развиваться дефекты, что приведет к аварийным ситуациям и несчастным случаям, нужно исследовать кинетику накопления трещин в ответственных деталях узлов сельскохозяйственных агрегатов. Такие исследования в данной работе были выполнены с помощью портативного

импульсного вихретокового дефектоскопа (общая разработка Института проблем прочности им. Г.С. Писаренка и Национального университета биоресурсов и природопользования Украины) [16]. Было проконтролировано наличие трещин в деталях узлов тракторов МТЗ-80 с разными сроками эксплуатации. Дефектоскопический контроль проводили на деталях, которые снимали во время ремонтов этих тракторов [17].

Необходимость применения такого дефектоскопа обусловлена тем, что визуальный (внешний) осмотр, а также методы дефектоскопии, разработанные для контроля лабораторных образцов, не дают возможности оперативного выявления трещин в совокупности деталей узлов [18-20].

Для обследованных тракторов дефектоскопический контроль проводили на деталях двигателя, навесной гидравлической системы, систем рулевого управления, заднего

моста и др. В данной работе результаты дефектоскопического контроля были проанализированы для отдельных узлов тракторов МТЗ-80 разных лет выпуска – навесного устройства, системы рулевого управления (табл. 1), двигателя и заднего моста.

На основе данных табл. 1 и аналогичных для других узлов были построены графики кинетики накопления трещин в деталях узлов тракторов МТЗ-80 разной длительности эксплуатации (рис. 1). Координаты графиков следующие: относительное количество обнаруженных трещин (n_d/N) в общей совокупности исследованных, значимых с точки зрения безопасности эксплуатации деталей – ось ординат; относительная длительность эксплуатации тракторов МТЗ-80 в хозяйствах – ось абсцисс. Тонкой линией изображена линия тренда, а также на рис. 1 записано ее уравнение и достоверность аппроксимирования R^2

Таблица 1. Результаты дефектоскопического контроля деталей системы рулевого управления тракторов МТЗ-80 разных годов выпуска

Table 1. Results of fault detection control of details of the system of steering management of tractors of МТЗ-80 different years of producing

№ п/п	Наименование деталей системы рулевого управления	Годы выпуска тракторов (в скобках указано количество тракторов, детали которых прошли дефектоскопический контроль)								Всего
		1985 (3)	1988 (3)	1989 (7)	1991 (6)	1992 (7)	1993 (7)	1994 (8)	1996 (7)	
1.	Рулевая колонка (вал)	3	1	3	1	4	3	-	-	15
2.	Корпус гидроусилителя рулевого управления	1	4	1	3	2	3	2	2	18
3.	Сошка	1	1	1	1	-	-	2	2	8
4.	Средний вал	1	1	-	-	1	3	3	2	11
5.	Поворотный рычаг	1	1	1	1	-	1	1	1	7
6.	Промежуточный вал	1	2	2	2	2	1	1	-	11
7.	Серьга	-	-	1	1	1	2	-	-	5
8.	Передний вал	-	-	2	-	-	-	3	1	6
Всего обнаружено трещин		8	10	11	9	10	13	12	8	81
Всего исследовано деталей		15	22	27	23	27	41	48	40	243
Относительное количество деталей с дефектами		0,52	0,45	0,41	0,39	0,37	0,32	0,25	0,2	

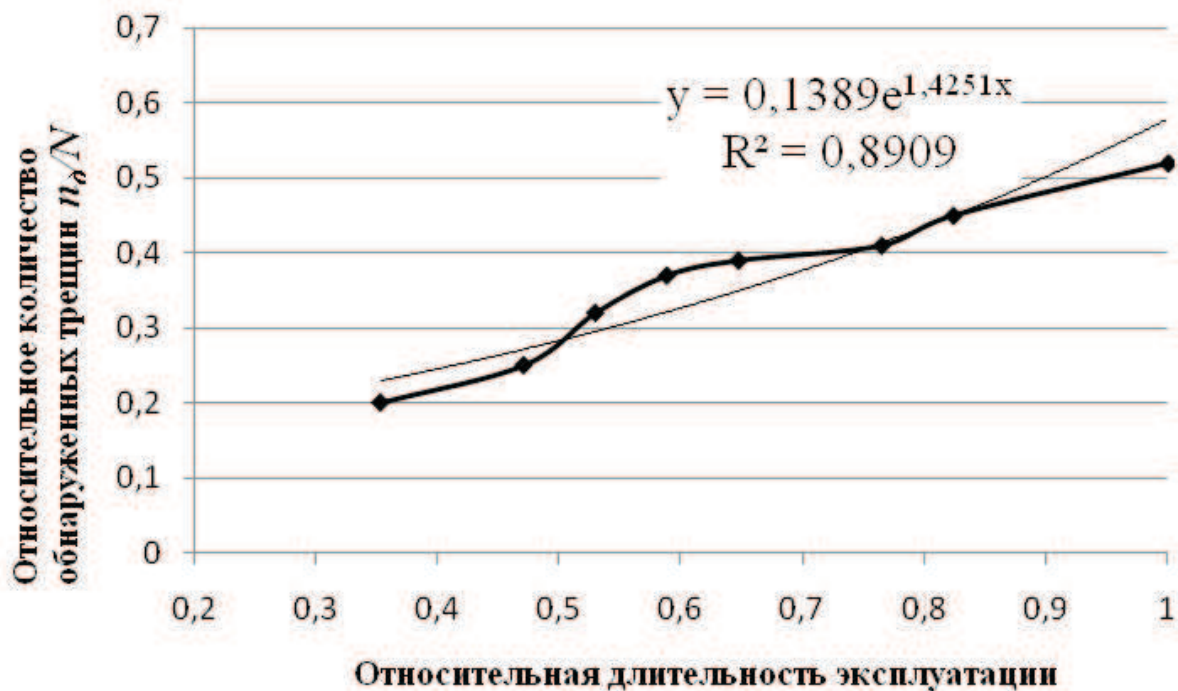


Рис. 1. Кинетика накопления трещин в деталях системы рулевого управления тракторов МТЗ-80 разных лет выпуска

Fig. 1. Kinetics of accumulation of cracks is in details of system of steering management of tractors of МТЗ-80 different years of producing

Было установлено, что кинетику накопления трещин в деталях узлов тракторов можно представить экспоненциальными зависимостями $y = a \cdot e^{bx}$ при достаточно высокой достоверности аппроксимации. Значения R^2 для четырех исследованных узлов близки к 0,97, среднее значение достоверности составляет 0,95.

Нужно отметить, что на всех кинетических диаграммах накопления трещин в деталях узлов (систем) тракторов МТЗ-80 можно указать относительную длительность эксплуатации, после которой интенсивность возникновения трещин растет, а значит увеличивается вероятность внезапного разрушения узлов трактора и аварийной ситуации на механизированных или транспортных работах.

Для исследованных узлов тракторов значения таких относительных длительностей эксплуатации приблизительно одинаковы и находятся в диапазоне 0,75-0,8 относительной длительности эксплуатации, что составляет около 13-14 лет. Следовательно данный показатель может служить сроком для пре-

ращения эксплуатации трактора, проведения дефектоскопии деталей, с целью выявления трещин, их устранения или отбраковки деталей.

ВЫВОД

Значение дефектоскопического контроля существенно возрастает с продолжительностью эксплуатации тракторов и комбайнов, особенно после 10-12 лет. Важно в практику технического обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники внедрять современные дефектоскопические устройства, позволяющие находить скрытые дефекты (трещины, раковины, непроваренные места и т.д.), которые могут вызвать внезапные отказы техники и создать аварийные ситуации, приводящие к несчастным случаям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gritsishin M.I. 2005: Kontseptualnyye podkhody k sozdaniyu i usovershenstvovaniyu selskokhozyaystvennoy tekhniki /

- M.I. Gritsishin, L.P. Shustik, P.A. Voytyuk // *Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny.* – № 3. – 35-36.
2. Adamchuk V.V. 2010: Problemi i perspektivi vitchiznyanogo silskogospodarskogo mashinobuduvannya / V.V. Adamchuk, Ya.S. Gukov, M.I. Gritsishin // *Visnik agrarnoi nauki.* – № 10. – 42-45.
3. Nadikto V.T. 2003: Perspektivi vikoristannya traktora KhTZ-120 u skladi kombinovanih agregativ / V.T.Nadikto, V.B. Mitkov, O.I. Genov // *Pratsi Tavriyskoi derzhavnoi agrotekhnichnoi akademii.* – Melitopol. – Vip.11. – 13-16.
4. Olyanich Yu.D. 1998: Snizheniye riska travmirovaniya mekhanizatorov putem sovershenstvovaniya tekhniki i tekhnologii: Avtoreferat dissertatsii na soiskaniye uchenoy stepeni d-ra. tekhn. nauk: 05.26.01 «Okhrana truda (po otraslyam)» / Yu.D.Olyanich. – Sankt-Peterburg. – 46.
5. Voynalovich O.V. 2010: Kontsepsiya rozroblennya sistemi vidstezhennya potentsiynikh nebezpek v APK / O.V. Voynalovich, V.O. Sheremet, M.O. Zheleznyak // *Naukoviy visnik Natsionalnogo universitetu bioresursiv i prirodozoristuvannya Ukraini.* – K.: – Vip. 144, ch. 2. – 100-106.
6. Rogach Yu.P. 1996: Napryami znizhennya profesiynogo riziku v APK / Yu.P. Rogach, A.S. Komar // *Naukoviy visnik TDATU,* 2012. – Vipusk 2. – T. 2. – S. 156-162.
7. Lushchenkov V.L.: Kriterii otsinki virobnichikh nebezpek / V.L. Lushchenkov, D.A. Butko ta in. – Simferopol: *Biznes-Inform.* – 224.
8. Lekhman S.D. 2001: Sistema upravlinnya profesiynim rizikom na silskogospodarskomu pidpriemstvi / S.D. Lekhman // *Zbirnik naukovikh prats 3-i Mizhnarodnoi naukovotekhnichnoi konferentsii "Motorizatsiya i yenergetika rilnitstva".* – Lyublin (Polshcha). – 9-12.
9. Lekhman S.D. 2004: Sistemniy pidkhid do analizu nebezpechnikh shtatsiy na mekhanizovanih protsesakh APK / S.D. Lekhman // *Naukoviy visnik Natsionalnogo agrarnogo universitetu.* – Vip. 73, ch. 2. – 220-224.
10. Tomilenko L.A. 2010: Dinamika zmin umov pratsi na traktorakh i kombaynakh v zalezhnosti vid strokiv ikh yekspluatatsii / L.A.Tomilenko, S.I.Kruk, I.O.Oliynik ta in. // *Visnik SNAU.* – Vipusk 1 (21). – 14-18.
11. Zinchuk M. 2012: Doslidzhennya zmini rivnya bezpechnosti tekhnichnikh zasobiv dlya silskogospodarskogo virobnitstva v protsesi yekspluatatsii / M.Zinchuk // *Tekhnika i tekhnologii APK.* – № 5 (32). – 25-27.
12. Shalapko Yu.I. 2010: Prikhovanist frettingprotseviv u zyednannyakh avtomobilnoi tekhniki ta ikh vpliv na bezpeku yekspluatatsii / Yu.I.Shalapko, A.L.Ganzyuk, M.A.Razuvayeva // *Visnik Khmel'nitskogo natsionalnogo universitetu.* – № 5. – 165-169.
13. Voynalovich O.V. 2012: Analiz prichin travmuvannya pratsivnikiv APK na mekhanizovanih ta transportnikh robotakh / O.V. Voynalovich, I.M. Podobyed, M.M. Motrich, O.A. Slipachuk // *Problemi okhoroni pratsi v Ukraini. Zbirnik naukovikh prats.* – Vipusk 24. – 38-49.
14. Wojnalowicz A. W. 2006: Przyczyny urazowości pracowników zatrudnionych przy zmechanizowanych pracach w produkcji rolnej / A.W.Wojnalowicz, I. M.Podobied // *Wypadki w rolnictwie – dynamika zmian w ostatniej dekadzie. Tłumaczenie streszczeń na język angielski* Hanna Kopertowska. Instytut medycyny wsi im. Witolda Chodźki w Lublin. Lublin.: – 118-122.
15. Voynalovich O.V. 2004: Zastosuvannya portativnogo vikhorostrumenevogo defektoskopa dlya viyavlennya trishchin v detalyakh silskogospodarskikh mashin / O.V. Voynalovich, I.M. Vasinyuk, M.M. Motrich / *Pratsi I-i mizhnarodnoi naukovotekhnichnoi konferentsii «Dinamika, mitsnist i nadiynist silskogospodarskikh mashin», 4-7 zhovtnya 2004 r.* – Ternopil. – 609-613.
16. Voynalovich O.V. 2008: Priladi neruynivnogo kontrolyu dlya viyavlennya trishchin u detalyakh vuzliv mobilnikh silskogospodarskikh mashin / O.V.Voynalovich, M.M.Motrich, I.M.Vasinyuk // *Mekhanizatsiya ta yelektrifikatsiya silskogo gospodarstva.* – Vipusk 92. – 440-445.
17. Voynalovich O.V. 2003: Zastosuvannya danikh defektoskopii dlya otsinennya ymovirnosti nastannya avariynikh situatsiy pri yekspluatatsii traktoriv / O.V.Voynalovich, Yu.B. Gnuchiy, M.M. Motrich // *Naukoviy visnik NAU.* – № 64. – 207-213.

18. Voynalovich O.V. 2007: Pidkhodi shchodo stvorenniya metodologii otsinennya riziku travmuvannya pratsivnikiv na mekhanizovanih protsesakh v APK / O.V. Voynalovich, M.M. Motrich // Yelektrotekhnika i mekhanika. – № 1. – 93-101.
19. Butko D.A. 1999: Bezpeka tekhnologichnikh protsesiv pri remonti i tekhnichnomu obslugovuvanni mashin ta obladnannya APK: Navch. posib. / D.A. Butko, V.L.Lushchenkov, M.T. Voinov. – Simf.: Biznes-Inform. – 326.
20. Lushchenkov V.L. 1993: Kontrol traktorov, kombaynov i avtomobiley po pokazatelyam bezopasnosti / V.L. Lushchenkov, D.A. Butko, M.L. Kryzhachkovskiy i dr. – K.: Urozhay. – 296.

**APPLICATION FOR PREDICTION
OF CONTROL FLAW EMERGENCIES
TO MECHANIZED PROCESSES
IN AGRICULTURE**

Summary. The kinetics of accumulation of operational defects (cracks) in detail units of tractors, which can lead to a sudden emergency and trauma workers on mechanized agriculture, transportation and repair work.

Key words: injuries, operational defects, causes of accidents, the risk of injury to agricultural workers.

КОНСТРУИРОВАНИЕ ПЛОСКИХ КРИВЫХ В ПОЛЯРНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ ЗА ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ ПРИ ВРАЩЕНИИ ИХ ВОКРУГ ПОЛЮСА

Сергей Пилипака, Виталий Бабка, Татьяна Захарова

Національний університет біоресурсів і природопользовання України

Україна, г. Київ, ул. Героїв Оборони, 15

Sergey Pylypaka, Vitaliy Babka, Tatyana Zaharova

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Приведено аналитическое описание кривых в полярной системе координат, отвечающих заданным свойствам механического (постоянство крутящего момента, создаваемого силой постоянной величины нажатия стержня вдоль нормали на кулачок, очерченный искомой кривой) и геометрического характера (постоянство угла пересечения заданной кривой с искомой при вращении последней вокруг полюса).

Ключевые слова: полярная система координат, плоская кривая, момент силы, крутящий момент.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Поверхности рабочих органов и кривые линии на них непосредственным образом влияют на рабочий процесс, то есть от их формы зависит качество выполняемой работы [19].

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Кривые линии в определенных условиях обладают механическими свойствами. Перечислим некоторые из наиболее известных свойств. Циклоида есть брахистохроной при движении частицы по поверхности под действием силы собственного веса при отсутствии сопротивления перемещению [4]. Гибкая тяжелая нить, подвешенная в двух точках, принимает форму цепной линии [24]. Переходные линии на закруглениях железнодорожных путей, трамвайных линий делают дугами клотоиды [2] или лемнискаты Бернулли [23]. Профиль зуба в зубчатых зацеплениях очерчен по эвольвенте окружности [22]. Профилем вертикального сечения

антифрикционной пяты карусельного токарного станка является трактриса [21]. При упругом изгибании тонких консольно закрепленных стержней на значительную величину под действием приложенной силы их ось принимает форму клотоиды [18]. Отдельную группу кривых представляют из себя траектории движения материальной частицы по шероховатой поверхности или плоскости [1, 3-10, 12, 14, 25]. Некоторые специальные линии поверхности имеют механические свойства, как, например, геодезические, которые могут быть граничными траекториями движения частицы по поверхности при больших ее скоростях [11, 13, 16, 20], или линии укоса, как вероятные траектории движения водных потоков [15, 17].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью статьи является получение аналитического описания кривых в полярной системе координат за заданными свойствами механического или геометрического характера. Первое свойство – постоянство крутящего момента, создаваемого силой постоянной величины нажатия стержня вдоль нормали на кулачок, очерченный искомой кривой. Второе свойство – постоянство угла пересечения заданной кривой с искомой при вращении последней вокруг полюса.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассмотрим некоторые свойства кривых, связанных с вращением. В этом случае кривую удобно задавать в полярной системе координат зависимостью длины радиус-вектора ρ от угла φ его поворота: $\rho = \rho(\varphi)$.

КОНСТРУИРОВАНИЕ ПЛОСКИХ КРИВЫХ В ПОЛЯРНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ ЗА ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ ПРИ ВРАЩЕНИИ ИХ ВОКРУГ ПОЛЮСА

Параметрические уравнения кривой в этом случае будут иметь вид:

$$\begin{aligned} x &= \rho \cos \varphi; \\ y &= \rho \sin \varphi. \end{aligned} \quad (1)$$

При $\rho = \text{const}$ уравнения (1) задают окружность.

При линейной зависимости $\rho = a\varphi$ образуемой кривой будет спираль Архимеда (рис. 1, а), у которой расстояние h между витками зависит от постоянной a : $h = 2\pi a$.

При вращении кривой вокруг полюса (начала координат) с постоянной угловой скоростью ω в радиальном направлении точка кривой движется с постоянной линейной скоростью v , которую можно найти дифференцированием зависимости $\rho = \rho(\varphi)$ по времени t :

$$v = \frac{d\rho}{dt} = \frac{d\rho}{d\varphi} \frac{d\varphi}{dt} = \omega \frac{d\rho}{d\varphi}.$$

Для спирали Архимеда $\rho = a\varphi$ скорость v имеет постоянное значение: $v = a\omega$. Это свойство используется в кулачковых механизмах, когда требуется, чтобы стержень совершал возвратно-поступательное движение с по-

стоянной скоростью [5]. Для этого эксцентрик очерчивается двумя симметричными дугами спирали (рис. 1, б).

Если стержень расположить по нормали к спирали, как показано на рис. 1, а, то его ось будет находиться на некотором расстоянии d от центра вращения.

При повороте кулачка на некоторый угол стержень уже не будет располагаться по нормали, то есть для того, чтобы он все время располагался по нормали, расстояние d должно быть переменным.

Поэтому, если стержень прижимается к профилю кулачка, очерченному по спирали Архимеда, с постоянной силой P , то необходимый крутящий момент для преодоления этой силы не будет постоянным (при этом силу трения не учитываем).

Поставим задачу найти такой профиль кулачка, который при постоянной силе P воздействия стержня на кулачок создавал бы при его вращении постоянный крутящий момент.

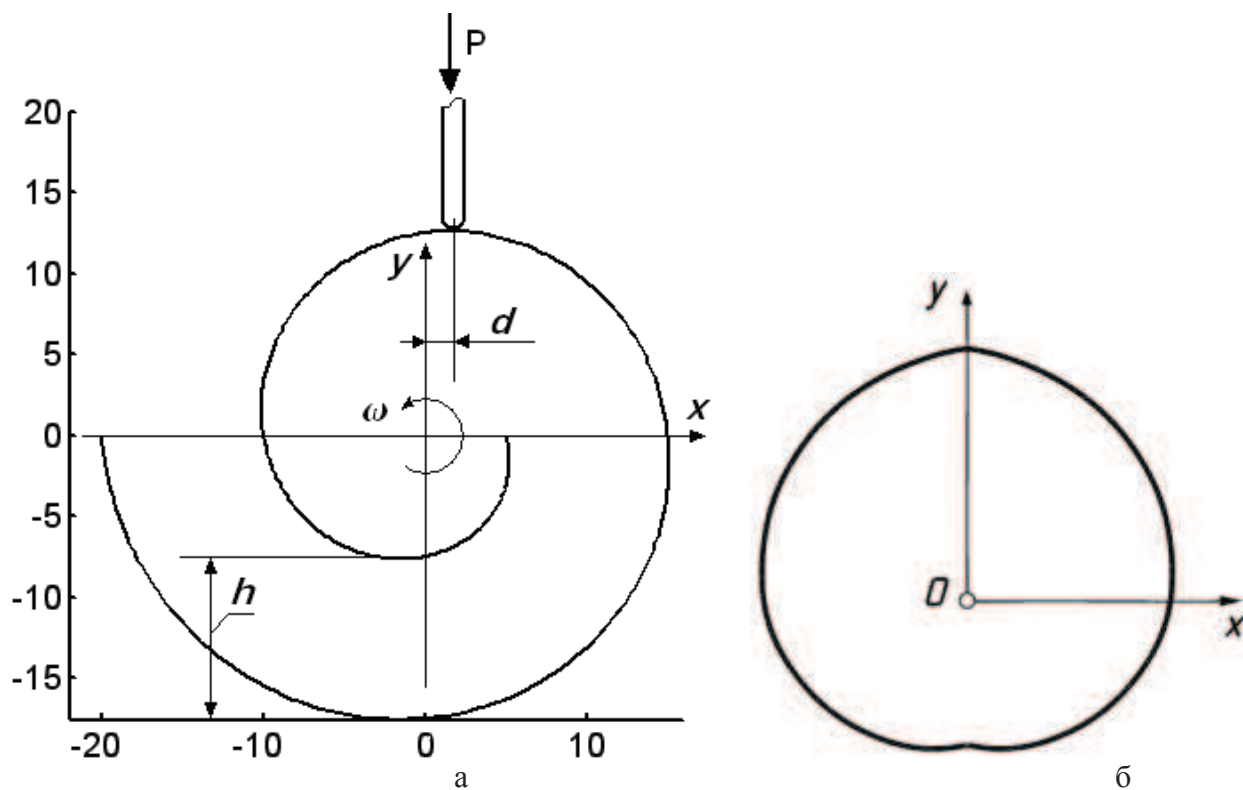


Рис. 1. Использование спирали Архимеда для вычерчивания профиля кулачка:

Fig. 1. Use of spiral of Archimedes for drawing of type of fist:

- а) к определению конструктивных параметров спирали;
- б) кулачок, образованный двумя симметричными дугами спирали.

На рис. 2,а изображена часть профиля конструируемого кулачка с приложенной в точке A вдоль нормали реакцией P , равной силе воздействия на кулачок стержня. Сила P создает момент $M=Pd$. Его можно заменить равноценным моментом $M=P\rho\rho'$, где $P\rho$ является проекцией силы P на направление, перпендикулярное радиус-вектору ρ , величина OA которого является плечом силы. Таким образом $M=P\rho\cos\alpha$. Чтобы момент M был постоянным при изменяющемся плече $OA=\rho$, необходимо обеспечить соответствующее изменение угла α . Из рис. 2,а нетрудно заметить, что угол α образуется пересечением радиус-вектора ρ с касательной к конструируемой кривой. Направление радиус-вектора ρ задается уравнениями (1), а направление касательной найдем дифференцированием этих уравнений:

$$\begin{aligned} x' &= \rho' \cos \varphi - \rho \sin \varphi; \\ y' &= \rho' \sin \varphi + \rho \cos \varphi. \end{aligned} \quad (2)$$

Угол между векторами радиус-вектора (1) и касательной (2) находим по известной формуле:

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{xx' + yy'}{\sqrt{(x^2 + y^2)(x'^2 + y'^2)}} = \\ &= \frac{\rho'}{\sqrt{\rho'^2 + \rho^2}} \end{aligned} \quad (3)$$

С учетом (3) можно окончательно записать выражение для момента силы P :

$$M = \frac{P\rho\rho'}{\sqrt{\rho'^2 + \rho^2}}. \quad (4)$$

Решить дифференциальное уравнение (4) при постоянных силе P и моменте M не удастся. Но при переходе от зависимости $\rho = \rho(\varphi)$ в уравнениях (1) к зависимости $\varphi = \varphi(\rho)$ решение существует. В таком случае дифференцирование уравнений (1) по переменной ρ дает вектор касательной в следующем виде:

$$\begin{aligned} x' &= \cos \varphi - \rho\varphi' \sin \varphi; \\ y' &= \sin \varphi + \rho\varphi' \cos \varphi. \end{aligned} \quad (5)$$

Соответственно выражения для косинуса угла и момента запишутся:

$$\cos \alpha = \frac{1}{\sqrt{1 + \rho^2 \varphi'^2}}; \quad (6)$$

$$M = \frac{P\rho}{\sqrt{1 + \rho^2 \varphi'^2}}. \quad (7)$$

Уравнение (7) можно проинтегрировать и найти зависимость $\varphi = \varphi(\rho)$:

$$\begin{aligned} \varphi &= \sqrt{\frac{P^2}{M^2} \rho^2 - 1} + \\ &+ \text{Arcctg} \sqrt{\frac{P^2}{M^2} \rho^2 - 1} \end{aligned} \quad (8)$$

Полученную зависимость можно записать в более компактном виде, обозначив отношение постоянных одним символом: $a=M/P$. Чтобы исследовать полученную кривую, перейдем от независимой переменной ρ к натуральному параметру s – длине дуги кривой. Она находится интегрированием известного выражения, которое с учетом (5) принимает вид:

$$\begin{aligned} s &= \int \sqrt{x'^2 + y'^2} d\rho = \\ &= \int \sqrt{1 + \rho^2 \varphi'^2} d\rho \end{aligned} \quad (9)$$

Найдем производную выражения (8) и после ее подстановки в (9) интеграл приобретает очень простой вид:

$$s = \frac{1}{a} \int \rho d\rho = \frac{\rho^2}{2a}, \quad \rho = \sqrt{2as}. \quad (10)$$

Подстановкой второго выражения (10) в (8) найдем зависимость $\varphi = \varphi(s)$:

$$\varphi = \sqrt{\frac{2s}{a} - 1} + \text{Arcctg} \sqrt{\frac{2s}{a} - 1}. \quad (11)$$

Если подставить зависимость (10) $\rho = \rho(s)$ и (11) $\varphi = \varphi(s)$ в (1), то мы получим параметрические уравнения кривой в функции длины ее дуги s :

$$\begin{aligned} x &= \sqrt{2as} \cos \cdot \\ &\cdot \left(\sqrt{\frac{2s}{a} - 1} + \text{Arcctg} \sqrt{\frac{2s}{a} - 1} \right); \\ y &= \sqrt{2as} \sin \cdot \\ &\cdot \left(\sqrt{\frac{2s}{a} - 1} + \text{Arcctg} \sqrt{\frac{2s}{a} - 1} \right). \end{aligned} \quad (12)$$

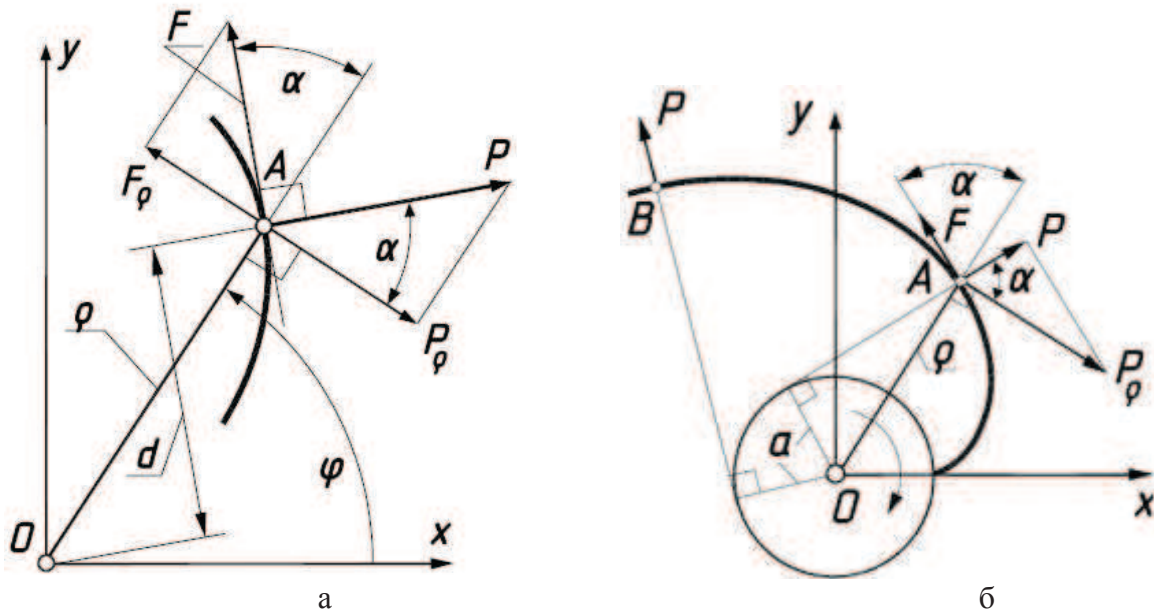


Рис. 2. Приложенные силы к профилю кулачка и их разложение:

Fig. 2. Attached forces to the type of fist and their decomposition:

- а) схема для нахождения моментов приложенных сил относительно начала координат;
 б) профиль кулачка, у которого нормальная составляющая приложенной силы создает момент постоянной величины.

Чтобы идентифицировать принадлежность полученной кривой (12) к известным кривым, найдем ее натуральное уравнение зависимости кривизны k от длины дуги s по известной формуле:

$$k = \sqrt{x''^2 + y''^2} = \frac{1}{\sqrt{2as - a^2}} \quad (13)$$

Уравнение (13) является натуральным уравнением известной кривой – эвольвенты окружности, для которой постоянная a играет роль радиуса начальной окружности (рис. 2,б). Приложенная по нормали в произвольной точке кривой сила постоянной величины P создает момент тоже постоянной величины, поскольку плечо a является радиусом начальной окружности и тоже есть величина постоянная. Введенное ранее сокращение $a=M/P$ имеет физический смысл, поскольку из него следует: $M=Pa$, что соответствует рис. 2,б. Это свойство может быть использовано, например, для проектирования режущей кромки ножа секатора. Если шарнирное соединение ножей секатора расположить в начале координат (точке O), то при сжатии ручек усилием человеческой руки создастся момент $M=Pa=P\rho\rho$. Если в точке A расположить ветку, то будет происходить резание со скольжением, которое определяется

величиной угла α . Основное сопротивление перерезанию ветки создает нормальная сила P , а дополнительная сила F трения, расположенная по касательной к кривой, значительно меньше. Таким образом, усилие для перерезания ветки будет примерно одинаковым независимо от того, в какой точке лезвия она находится: A или B (рис. 2,б). Объясняется это тем, что по мере удаления точки от начала координат возрастает скольжение лезвия в силу изменения угла α .

Можно сконструировать кривую профиля кулачка с предыдущим условием, но с учетом силы трения стержня о кулачок. Сила трения F , которая определяется произведением силы давления на коэффициент трения f , для нашего случая будет равна: $F=fP$. Она действует вдоль касательной к кривой в сторону, противоположную направлению вращения кулачка (рис. 2). Она создает дополнительный момент относительно начала координат. Спроецируем ее на направление, перпендикулярное радиус-вектору ρ : $F_\rho = fP \sin \alpha$. Момент силы в зависимости от направления вращения с учетом (6) запишется:

$$M = \pm fP\rho \sin \alpha = \pm \frac{fP\rho^2\varphi'}{\sqrt{1 + \rho^2\varphi'^2}} \quad (14)$$

Сумма двух возникающих моментов (7) и (14) от действующей постоянной силы P равна постоянному уравнивающему моменту M :

$$\frac{P\rho}{\sqrt{1+\rho^2\varphi'^2}}(1\pm f\rho\varphi')=M. \quad (15)$$

Дифференциальное уравнение (15) не имеет аналитического решения, однако для частного случая при $M=0$ получаем:

$$\varphi = \frac{\ln \rho}{f} \quad \text{или} \quad \rho = e^{f\varphi}. \quad (16)$$

Полученное выражение (16) есть уравнением логарифмической спирали в полярной системе координат. Ее особенностью является то, что угол $\alpha = \text{const}$ постоянен по всей длине дуги. В полученном уравнении (16) коэффициент трения f связан с углом α соотношением $f = \text{ctg} \alpha$. Если изготовить кулачок, очерченный по логарифмической спирали с соответствующим значением угла α для заданного коэффициента трения f , то при приложении со стороны стержня постоянного усилия P произвольного значения его составляющие образуют два момента относительно полюса, равных по величине и противоположных по направлению, которые уравнивают друг друга. Кулачок может либо находиться в состоянии покоя, либо вращаться с заданной начальной угловой скоростью ω (при отсутствии других сил сопротивления). При $\alpha = 90^\circ$ спираль превращается в окружность и расстояние d (рис. 1,а) будет равно нулю. Но в этом случае должно соблюдаться условие $f=0$, то есть профиль кулачка должен быть абсолютно гладким и сила трения возникать не будет. Следовательно, оба момента равны нулю и заданные начальные условия соблюдаются.

Из свойства логарифмической спирали вытекает, что две спирали с разными значениями угла α при совмещении их полюсов будут пересекаться тоже под постоянным углом, равным разности углов каждой спирали. Эта разность не зависит от расстояния ρ , то есть при вращении одной спирали и при неподвижной второй точка их пересечения будет перемещаться, но угол между ними будет оставаться постоянным. Такой угол между касательными к кривым в точке их пересечения для режущей пары называется

углом защемления. Поставим задачу таким образом, чтобы для заданной исходной кривой в полярной системе координат можно было найти другую кривую, сохраняющую заданный угол защемления постоянным при вращении искомой кривой относительно неподвижной исходной кривой.

Поскольку угол защемления не должен зависеть от радиус-вектора ρ , то обе кривые целесообразно задавать уравнениями в полярной системе координат функцией вида $\varphi = \varphi(\rho)$: $\varphi_1 = \varphi_1(\rho)$ и $\varphi_2 = \varphi_2(\rho)$. Для обеих кривых угол α между кривой и ее радиус-вектором определяется выражением (6). В связи с этим можно записать разность углов $\alpha_2 - \alpha_1 = \alpha$:

$$\text{Arccos} \frac{1}{\sqrt{1+\rho^2\varphi_2'^2}} - \text{Arccos} \frac{1}{\sqrt{1+\rho^2\varphi_1'^2}} = \alpha \quad (17)$$

Преобразуя разность арккосинусов за известными формулами, получим следующее выражение:

$$\alpha = \text{Arccos} \frac{1+\rho^2\varphi_1'\varphi_2'}{\sqrt{(1+\rho^2\varphi_1'^2)(1+\rho^2\varphi_2'^2)}} \quad (18)$$

Считая зависимость $\varphi_1 = \varphi_1(\rho)$ и соответственно φ_1' заданной, решим уравнение относительно φ_2' . Мы получаем два выражения, поскольку исходную кривую могут пересекать две искомые кривые под заданным углом α (с одной и с другой стороны):

кривая 1

$$\frac{d\varphi_2}{d\rho} = \frac{\varphi_1'\rho \cos \alpha + \sin \alpha}{\rho \cos \alpha - \varphi_1'\rho^2 \cos \alpha} \quad (19)$$

кривая 2

$$\frac{d\varphi_2}{d\rho} = \frac{\varphi_1'\rho \cos \alpha - \sin \alpha}{\rho \cos \alpha + \varphi_1'\rho^2 \cos \alpha} \quad (20)$$

При $\varphi_1 = c - \text{const}$, $\varphi_1' = 0$ (прямая линия) интегрирование уравнений (19), (20) дает решение $\rho = e^{\pm \varphi \text{ctg} \alpha}$, что соответствует двум логарифмическим спиральям правого и левого хода. Если $\alpha = 45^\circ$, то эти спирали будут пересекаться под прямым углом.

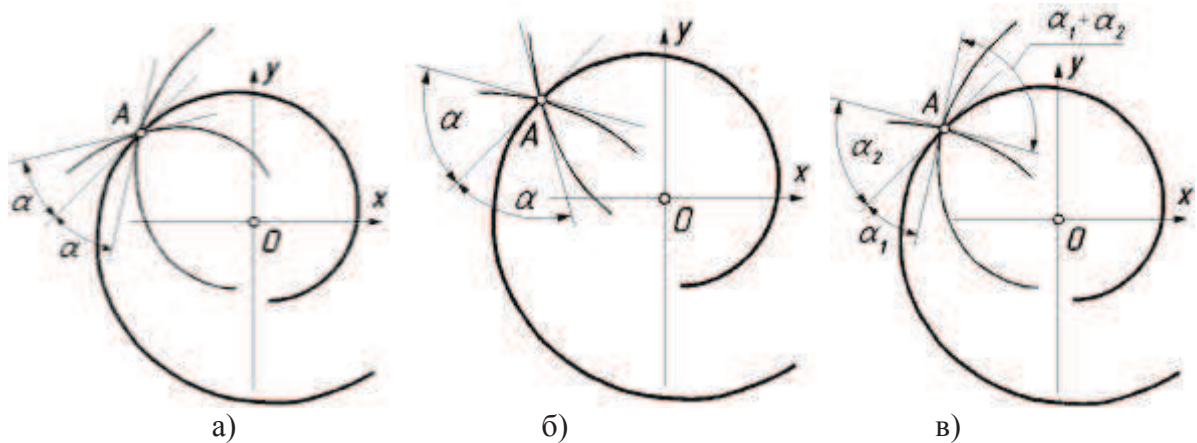


Рис. 3. Кривые, пересекающие исходную спираль Архимеда $\varphi_1 = a\rho$ при $a=2\theta$ под заданным углом α :

Fig. 3. Curves, crossing the initial spiral of Archimedes $\varphi_1 = a\rho$ at $a=2\theta$ under the set corner α :
 а) $\alpha=30^\circ$; б) $\alpha=60^\circ$; в) $\alpha_1=30^\circ$ и $\alpha_2=60^\circ$.

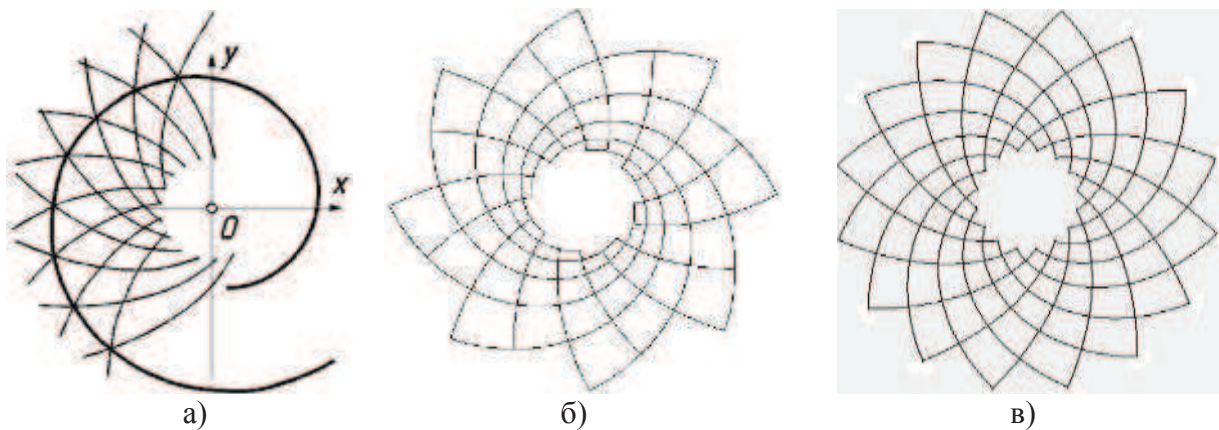


Рис. 4. Криволинейные сети с равными углами взаимного пересечения кривых при их вращении:

Fig. 4. Curvilinear networks with the equal corners of the mutual crossing of curves at their rotation:

- а) противоположные углы криволинейного четырехугольника равны;
 б), в) все углы равны, сеть прямоугольная.

Рассмотрим задачу построения таких кривых для спирали Архимеда, заданной зависимостью $\varphi_1 = a\rho$. Подставляя в (19) и (20) $\varphi_1' = a$, получим два выражения, интегрирование которых дает:

кривая 1

$$\varphi_2 = \ln \rho \operatorname{tg} \alpha - \frac{\ln(a\rho \sin \alpha - \cos \alpha)}{\sin \alpha \cos \alpha} \quad (21)$$

кривая 2

$$\varphi_2 = -\ln \rho \operatorname{tg} \alpha + \frac{\ln(a\rho \sin \alpha + \cos \alpha)}{\sin \alpha \cos \alpha} \quad (22)$$

Зависимостям $\varphi_2 = \varphi_2(\rho)$ (21), (22) соответствуют две кривые, пересекающие исходную спираль Архимеда под заданным углом α . На рис. 3 построены кривые, пересекающие спираль Архимеда в точке A для разных заданных углов α .

Кривые, пересекающие исходную спираль под постоянным углом, между собой тоже образуют постоянный угол, который есть суммой заданных. Например, на рис. 3,а построенные кривые образуют между собой угол 60° , на рис. 3,б - 120° , а на рис. 3,в - прямой. При вращении этих кривых относительно начала координат углы пересечения изменяться не будут и таким образом полу-

чается некоторая сеть, криволинейный четырехугольник которой имеет равные противоположные углы (рис. 4). В частности, все углы могут быть равными, когда они прямые. На рис. 4,б прямоугольная сеть образована при $\alpha_1=30^\circ$ и $\alpha_2=60^\circ$, а на рис. 4,в – при $\alpha_1=60^\circ$ и $\alpha_2=30^\circ$.

ВЫВОД

Если к кулачку приложена сила нажатия стержня вдоль нормали его профиля постоянной величины, то для вращения кулачка необходимо приложить крутящий момент. При условии, что этот момент должен быть постоянным и не зависеть от угла поворота при отсутствии трения стержня о кулачок, последний должен быть очерчен по эвольвенте окружности. Величина момента определяется произведением силы на радиус начальной окружности эвольвенты. При дополнительном условии учета силы трения кривую профиля кулачка можно найти, когда момент равен нулю, то есть момент от приложенной силы уравновешивается моментом от силы трения. Такой кривой является логарифмическая спираль, угол пересечения которой с радиус-вектором определяется значением коэффициента трения. Получены также другие кривые, угол пересечения которых является постоянным при вращении одной относительно второй вокруг начала координат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Adamchuk V.V. 2003: Teoretichne doslidzhennya rozgonu mineralnikh dobriv rozsiyuvalnim organom / V.A. Adamchuk // Mekhanizatsiya i yenergetika silskogo gospodarstva. IV Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiya MOTROL–2003. – K.: NAU. – Tom 6. – 113 – 126.
2. Bosov A.A., Laguta V.V. 1988: Ratsionalnyye perekhodnyye krivyeye zheleznodorozhnogo transporta // Matematicheskoye modelirovaniye v zadachakh zheleznodorozhnogo transporta: Mezhev. sb. nauchn. tr. DIIT. – Dnepropetrovsk. – 4 – 11.
3. Bulgakov V.M. 2010: Teoriya dvizheniya chastitsy v tsentrobezhnom vysevyayushchem apparate / V.M. Bulgakov, S.F. Pilipaka V.

- Pristupa // MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Tom 12. Lublin. – 122 – 131.
4. Vasilenko P.M. 1960: Teoriya dvizheniya chastitsy po sherokhovatym poverkhnostyam selskokhozyaystvennykh mashin / P.M. Vasilenko. – Kiyev: Izd-vo Ukr. akad. selsk. nauk. – 283.
5. Voytyuk D.G. 1999: Do viznachennya traektoriy rukhu chastinok gruntu po tsilindrichnikh poverkhnnyakh robochikh organiv gruntoobrobnykh znaryad / D.G. Voytyuk, S.F. Pilipaka // Zbirnik naukovikh prats Natsionalnogo agrarnogo universitetu «Mekhanizatsiya silskogospodarskogo virobnitstva». – Tom 5. «Suchasni problemi mekhanizatsii silskogo gospodarstva». – K.: NAU. – 242 – 251.
6. Voytyuk D.G. 2003: Znakhodzhennya traektorii rukhu materialnoi tochki po gravitatsiyaniy rozgortniy poverkhni na priklyadi rozgortnogo gelikoida / D.G. Voytyuk, S.F. Pilipaka // Mekhanizatsiya i yenergetika silskogo gospodarstva. IV Mizhnarodna naukovo-tekhnichna konferentsiya MOTROL–2003. – K.: NAU. – Tom 6. – 113 – 126.
7. Voytyuk D.G. 2002: Znakhodzhennya traektorii rukhu materialnoi chastinki po gravitatsiyonikh liniychatikh poverkhnnyakh iz gorizontalnimi tvirnimi / D.G. Voytyuk, S.F. Pilipaka // Zbirnik naukovikh prats NAU «Mekhanizatsiya silskogospodarskogo virobnitstva». – T.12. – K.: NAU. – 58 – 69.
8. Voytyuk D.G. 2003: Znakhodzhennya traektoriy rukhu materialnoi chastinki po vnutrishniy poverkhni vertikalnogo tsilindra pri bokoviy podachi materialu / D.G. Voytyuk, S.F. Pilipaka // Visnik Kharkivskogo derzhavnogo tekhnichnogo universitetu silskogo gospodarstva. – Vip. 20. «Mekhanizatsiya silskogo gospodarstva». – Kharkiv. – 91 – 99.
9. Voytyuk D.G. 2002: Konstruyuvannya liniychatoi poverkhni za rozrakhunkovoyu traektorieyu rukhu materialnoi chastinki po niy / D.G. Voytyuk, S.F. Pilipaka // Naukoviy visnik Natsionalnogo agrarnogo universitetu. – K.: – Vip. 49. – 68 – 74.
10. Voytyuk D.G. 2001: Konstruyuvannya prostorovoi krivoi linii iz zadanoyu krivinoyu, yak trayektorii rukhu materialnoi tochki / D.G. Voytyuk, S.F. Pilipaka // Zbirnik naukovikh prats NAU «Mekhanizatsiya

КОНСТРУИРОВАНИЕ ПЛОСКИХ КРИВЫХ В ПОЛЯРНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ ЗА ЗАДАНЫМИ СВОЙСТВАМИ ПРИ ВРАЩЕНИИ ИХ ВОКРУГ ПОЛЮСА

- silskogospodarskogo virobnitstva». – Т. 10. – К.: НАУ. – 74 – 78.
11. Voytyuk D.G. 2003: Pobudova geodezichnikh liniy, yak granichnikh trayektoriy rukhu materialnikh chastinok po poverkhni / D.G. Voytyuk, S.F. Pilipaka // Naukoviy visnik Natsionalnogo agrarnogo universitetu. – К.: НАУ. – Vip. 60. – 138 – 141.
12. Linnik M.K. 2006: Doslidzhennya rukhu materialnoi chastinki po vnutrishniy poverkhni statsionarnogo tsilindra / M.K. Linnik, S.F. Pilipaka // Visnik agrarnoi nauki. – К. № 2. – 48 – 54.
13. Pilipaka S.F. 2003: Doslidzhennya geodezichnikh liniy na poverkhni gvintovogo konoida / S.F. Pilipaka, T.V. Gnitetska // Suchasni problemi geometrichnogo modelyuvannya. Materiali mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferentsii. – Lviv: Natsionalniy universitet «Lvivska politehnika». – 77 – 80.
14. Pilipaka S.F. 2010: Doslidzhennya rukhu chastinki po vnutrishniy poverkhni pokhilogo tsilindra, shcho obertaeytsya navkolo vlasnoi osi / S.F. Pilipaka, I.Yu. Grishchenko, T.S. Pilipaka // MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Tom 12B. Lublin. – 115 – 120.
15. Pilipaka S.F. 2004: Modelyuvannya liniy naybilshogo nakhilu poverkhni polya dlya sistemi tochnogo zemlerobstva / S.F. Pilipaka, M.S. Volyanskiy, I.Yu. Khimenko // Pratsi Tavriyskoi derzhavnoi agrotekhnichnoi akademii. – Vip. 4. Prikl. geometriya ta inzh. grafika. – Tom 23. – Melitopol: TDATA. – 23 – 28.
16. Pilipaka S.F. 2011: Pobudova geodezichnikh liniy na poverkhni giperbolichnogo paraboloida / S.F. Pilipaka, Ya.S. Kremets // Pratsi Tavriyskogo derzhavnogo agrotekhnologichnogo universitetu. – Vip. 4. Prikl. geometriya ta inzh. grafika. – Tom 49. – Melitopol: TDATU. – 62 – 69.
17. Pilipaka S.F. 1990: Postroyeniye liniy otkosa na telakh vrashcheniya / S.F. Pilipaka // Prikl. geometriya i inzh. grafika. – К.: Budivelnik. – Vyp. 50. – 88 – 89.
18. Pilipaka S.F. 2007: Pruzhne zginannya sterzhniv pri znachnikh ikh proginakh / S.F. Pilipaka, V.M. Nesvidomin, T.S. Pilipaka // Yelektrotehnika i mekhanika. – К. – № 1. – 43 – 51.
19. Pilipaka S.F. 2010: Teoretichne viznachennya krivoi pererizu tsilindrichnoi vidbivayuchoi poverkhni deki lushchilnoi mashini / S.F. Pilipaka, V.M. Babka // MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Tom 12B. Lublin. – 102 – 108.
20. Pilipaka T.S. 2011: Osoblivosti geodezichnikh liniy na poverkhnyakh obertannya / T.S. Pilipaka, V.M. Babka, Ya.S. Kremets // Kompyuterno-integrovani tekhnologii: osvita, nauka, virobnitstvo. Naukoviy zhurnal. – Lutsk: LNTU. – № 6. – 182 – 185.
21. Savelov A.A. 1960: Ploskiye krivyye. Sistematika, svoystva, primeneniya / A.A. Savelov. – М.: FIZMATGIZ. – 292.
22. Frolov K. V., Popov S. A., Musatov A. K., Timofeyev G. A., Nikonorov V. A. 2002: Teoriya mekhanizmov i mekhanika mashin / Kolesnikov K. S. – Izdaniye chetvertoye, ispravlennoye i dopolnennoye. – М.: Izdatelstvo MGTU im. N.E. Bauman. – Т. 5. – 664.
23. Shikin Ye.V. 1997: Krivyye na ploskosti i v prostranstve. Spravochnik s prilozheniyem diskety «Ploskiye krivyye» / Ye.V. Shikin, M.M. Frank-Kamenetskiy. – М.: FAZIS. – 336.
24. Shmidt M.P., Shmidt A.M. 2005: Ravnovesiye gibkoy nerastyazhimoy podvesh-ennoy niti // Fizika: problemi vkladannya. – № 1. – 23 – 25.
25. Pylypaka S.F. 2002: Motion of a mass point on a helical ruled surface / S.F. Pylypaka // Proceedings of the 10th international conference on geometry and graphics. – Kyiv. – Volume 1. – 53 – 55.

CONSTRUCTING OF FLAT CURVES IN POLAR SYSTEM OF COORDINATES ACCORDING TO SET PROPERTIES AT ROTATION AROUND THEM POLE

Summary. Analytical description of curves in polar coordinates according to set properties of mechanical (constancy of twisting moment, created by permanent force of pressure of bar along normal on fist, outlined by found curve) and geometrical character (constancy of corner of crossing of set curve with founded after rotation last round pole) is resulted.

Key words: polar system of coordinates, flat curve, moment of force, twisting a moment.

О НЕПРАВОМЕРНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО РАДИУСА В ТЕОРИИ КАЧЕНИЯ ЭЛАСТИЧНОГО КОЛЕСА

Сергей Пожидаев

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15*

Sergey Pozdayev

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Рассматривается ошибка в теории качения эластичного колеса, которая заключается в применении динамического радиуса вместо радиуса качения. Показано, что применение динамического радиуса при описании работы эластичного колеса является неправомерным.

Ключевые слова: эластичное колесо, радиус качения колеса, динамический радиус.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Расчет режимов работы колесных машин невозможен без применения показателей, достоверно характеризующих преобразование подведенной к ведущим колесам мощности вращательного движения в их силу тяги и скорость поступательного перемещения [1; 2]. Если в выборе этих показателей не соблюдать надлежащей строгости, то получаемые при этом результаты нельзя считать достоверными.

Однако в настоящее время в этом вопросе господствует полная неопределенность. Для решения одних и тех же задач применяются совершенно различные радиусы, значения которых в отдельных случаях могут различаться на 15 ... 25 % [3, с.13]. А именно, не существует однозначного разделения областей применения динамического радиуса r_d , понимаемого как расстояние от опорной плоскости до центра движущегося колеса [4], и радиуса качения r_k , понимаемого как отношение продольной составляющей V поступательной скорости движения колеса (без учета проскальзывания или буксования) к его угловой скорости вращения ω [4]:

$$r_k = \frac{V}{\omega}. \quad (1)$$

Авторы работ [5, с. 33; 6, с. 23; 7, с. 7; 8, с. 24; 9, с. 24; 10, с. 14] и многие другие для определения продольной составляющей V поступательной скорости движения колеса применяют радиус качения r_k :

$$V = r_k \cdot \omega. \quad (2)$$

Однако авторы других работ ([11, с. 18; 12, с. 41; 13, с. 27; 14, с. 20; 15, с. 12; 16, с. 26] и др.) для тех же расчетов применяют динамический радиус r_d :

$$V = r_d \cdot \omega. \quad (3)$$

Таким образом в научно-технической литературе одновременно применяются уравнения (2) и (3), противоречащие друг другу.

Для установления взаимосвязи между крутящим моментом колеса M_k и силой тяги P_k рассматривают, как правило, схему сил и моментов, приложенных к ведущему колесу в случае его равномерного движения – рис. 1.

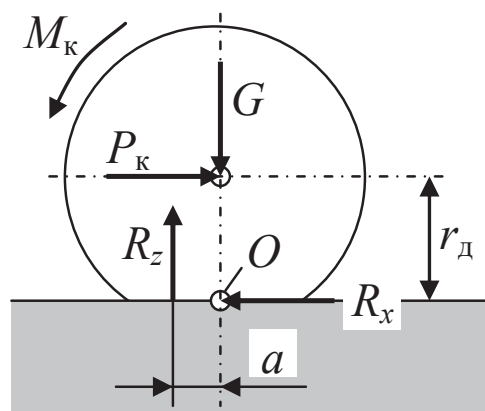


Рис. 1. К составлению уравнения равновесия колеса под действием приложенных к нему сил и моментов

Fig. 1. Drafting of equalization of equilibrium of wheel under action of forces and moments attached to it

Уравнение равновесия такого колеса относительно т. O имеет вид:

$$\Sigma M_O = M_k - P_k \cdot r_d - R_z \cdot a = 0, \quad (4)$$

где: M_k – крутящий момент колеса;

P_k – сила тяги колеса;

r_d – динамический радиус;

R_z – нормальная реакция опорной поверхности;

a – продольный снос нормальной реакции опорной поверхности.

Записав уравнение (4) в виде

$$M_k = P_k \cdot r_d + R_z \cdot a, \quad (5)$$

получают, что показателем взаимосвязи между крутящим моментом колеса M_k и его силой тяги P_k является динамический радиус колеса $r_{\text{д}}$. Его и применяют в качестве упомянутого показателя в пособиях [11, с. 18; 12, с. 40 и 41], в учебниках [5, с. 54; 17, с. 57], а также в работах [18; 19] и др.

Однако в учебниках [8, с. 28; 10, с. 8; 20, с. 33], в работах [21, с. 27; 22, с. 7; 23 с. 33] и др. для установления той же взаимосвязи руководствуются следующим уравнением, полученным из баланса мощности колеса:

$$M_k = P_k \cdot r_k + M_f, \quad (6)$$

где: M_f – момент сопротивления перекачиванию.

В этом уравнении фигурирует радиус качения r_k , вследствие чего уравнения (5) и (6) противоречат друг другу.

А в работах [9, с. 19 и 32; 24, с. 339; 3, с. 74] др. на равных правах применяются оба уравнения – как (5), так и (6).

Как уже упоминалось, расхождение между значениями r_k и r_d в некоторых случаях достигает 15 – 25 %, вследствие чего сложившаяся ситуация компрометирует теорию качения. Как может инженер или начинающий научный сотрудник верить результатам предоставленных ему сложнейших теоретических изысканий, если их авторы не имеют единого мнения относительно однозначного применения даже радиусов колеса – самых простых и самых фундаментальных понятий теории качения?

Коллизию уравнений (5) и (6) рассматривал В.А. Петрушов [7]. Он анализировал различие между величинами $R_z \cdot a$ и M_f , обус-

ловленное разными значениями составляющих $P_k \cdot r_d$ и $P_k \cdot r_k$ и предположил, что право на существование имеют оба уравнения. Однако такой вывод нельзя признать конструктивным, поскольку правильно построенная теория не может давать на один и тот же вопрос два ответа, которые противоречат друг другу.

Упомянутую коллизию изучали и авторы работы [26]. Используя принцип возможных перемещений, они установили, что при составлении уравнения равновесия колеса под действием приложенных к нему сил и моментов, вопреки геометрически «очевидным» соображениям, должен применяться только радиус качения r_k , но не динамический радиус r_d .

Причину некорректности применения динамического радиуса r_d они объяснили тем, что эластичное колесо с беговой дорожкой постоянного (или близкого к таковому) периметра представляет собой частный случай гусеничного движителя, в котором радиус качения колеса r_k играет роль радиуса ведущей звездочки, а динамический радиус r_d играет роль радиуса опорных катков, который не имеет отношения к уравнениям силового равновесия гусеницы под действием приложенных к ней сил и моментов.

Однако в этой работе не вскрыта причина, почему, вопреки «здравому смыслу и очевидной правильности» соотношения (5), полученного по правилам теоретической механики, оно оказывается неправильным.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Э.Б. Станкевич пытался экспериментально установить, какой же радиус колеса определяет взаимосвязь между его крутящим моментом M_k и силой тяги P_k [27]. Он пришел к выводу, что в наибольшей степени упомянутая взаимосвязь определяется средним арифметическим значением между радиусом качения r_k и динамическим радиусом r_d . Однако такой вывод также нельзя признать конструктивным, поскольку существующая теория качения колеса предполагает только

О НЕПРАВОМЕРНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО РАДИУСА В ТЕОРИИ КАЧЕНИЯ ЭЛАСТИЧНОГО КОЛЕСА

два взаимоисключающих ответа – r_k или r_d , и никаких других.

Из результатов исследований, представленных на рис. 3 работы [28] следует, что взаимосвязь между крутящим моментом M_k колеса и его силой тяги P_k определяется некоторым «силовым» радиусом ρ , который на 2,7 % больше радиуса качения колеса на холостом ходу $r_{к.х}$.

Результаты аналогичных исследований, изложенные в работах [29] и [30], размещены в табл. 1. Анализируя их совместно с результатами работы [28] получаем, что значения «силового радиуса» ρ , определенные в упомянутых работах, в шести случаях из семи в среднем на 4 % превышают значения радиуса качения $r_{к.х}$. Поскольку динамический радиус всегда меньше радиуса качения (определяемого без учета буксования), то можно утверждать, что экспериментальные данные подтверждают правильность уравнения (6), но не (5).

Отсутствие точного совпадения значений радиусов ρ и $r_{к.х}$ объясняется ошибками эксперимента, поскольку известно, что даже наиболее современные конструкции измери-

тельных стендов не обеспечивают точного измерения тангенциальных и боковых усилий на исследуемых колесах [31, с. 13].

Однако экспериментального подтверждения правильности уравнения (6) недостаточно для того, чтобы считать дилемму « r_d или r_k » полностью разрешенной. Необходимо установить еще и причину широко распространенного заблуждения, заключающегося в применении динамического радиуса r_d , а не радиуса качения r_k .

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является уточнение теории качения эластичного колеса.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В соответствии с действующим стандартом [4] с поступательной скоростью движения колеса по определению связан только радиус качения r_k .

Таблица 1. Анализ степени несовпадения значений силового радиуса ρ и радиуса качения $r_{к.х}$ некоторых шин по данным работ [29] и [30]

Table 1. Analysis of degree of lack of coincidence of values of power radius and radius of wobbling of some tires from data of works [29] and [30]

Обозначение шины	Радиус качения $r_{к.х}$, м	Силовой радиус ρ , м	Погрешность значения ρ относительно значения $r_{к.х}$, %
ОШ-1	0,677	0,652	-3,7
49x23,5-21LT HC2 AVTOROS	0,600*	0,634*	+5,7
49x23,5-21LT HC4 AVTOROS	0,568*	0,603*	+6,2
600/50R22,5 мод. DT-46	0,557	0,569	+2,2
	0,556	0,579	+4,1
	0,556	0,609	+9,5
Средне значения похибки			+4,0

* Данные получены в результате выполненной автором математической обработки данных, представленных на рис.1 б и 1 в работе [29]

Вследствие этого для определения продольной составляющей V поступательной скорости колеса должно применяться соотношение (2), непосредственно вытекающее из определения (1) радиуса качения r_k , но не соотношение (3), т.к. динамический радиус r_d не имеет отношения к поступательной скорости движения колеса.

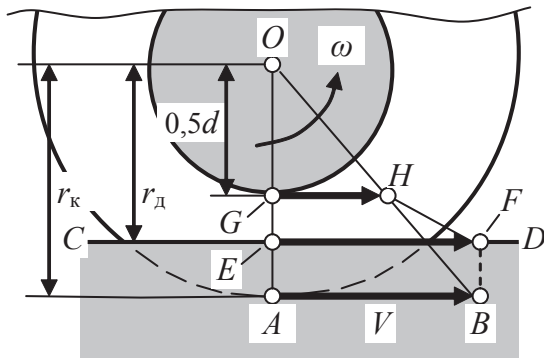


Рис. 2. К построению эпюры линейных скоростей точек колеса в его относительном движении

Fig. 2. To the construction of epure of linear speeds of points of wheel in his relative motion

Линейная скорость V любой точки беговой дорожки шины в относительном движении эластичного колеса вокруг оси O одинакова и определяется, как было установлено выше, известным соотношением (2). Эта скорость на рис. 2 изображена в виде вектора AB , расположенного на расстоянии r_k от оси колеса O . Поскольку радиус r_k (взятый без учета буксования) всегда больше динамического радиуса r_d , определяющего высоту расположения центра колеса над опорной поверхностью, то на рис. 2 вектор AB оказывается расположенным ниже уровня опорной поверхности CD .

Образовавшаяся при этом линия ONB характеризует распределение относительных линейных скоростей точек колеса, лежащих вдоль вертикальной линии OGA , т.е. вдоль радиуса качения r_k . Причем отрезок ON характеризует распределение упомянутых скоростей в сечении OG диска колеса, а отрезок NB – в сечении GA эластичной шины.

Однако в действительности беговая дорожка шины проходит не через виртуальную

Для установления причины ошибочности уравнения (3), построенного в соответствии с законами теоретической механики, рассмотрим рис. 2, на котором изображено колесо, движущееся по опорной поверхности CD . Динамический радиус колеса равен r_d , а радиус качения – r_k .

точку A , а через точку E , находящуюся в пятне контакта колеса с опорной поверхностью CD . Поэтому линейная скорость AB беговой дорожки шины в действительности наблюдается в точке E – см. вектор EF . Поскольку упомянутый вектор обозначает линейную скорость беговой дорожки шины, которая (скорость) в силу неразрывности беговой дорожки одинакова для всех ее точек и не зависит от нормальной деформации шины, то вектор EF имеет ту же длину, что и вектор AB . Вследствие этого распределение линейных скоростей точек колеса (в относительном движении), лежащих в сечении GE эластичной шины, изменяется. Оно характеризуется линией HF , которая отклоняется вправо от линии NB . Это означает, что угловая скорость вращения сечения GE эластичной шины больше, чем угловая скорость вращения диска ω .

Физический смысл этого парадоксального явления прост. Отрезок GE динамического радиуса короче, чем отрезок GA радиуса качения. Вследствие этого равенство относительных линейных скоростей EF и AB беговой дорожки может обеспечиваться только за счет увеличения угловой скорости вращения отрезка GE , т.е. за счет увеличения угловой скорости сечения GE шины, что обеспечивается тангенциальными деформациями боковин. Это, в частности, объясняет причину быстрого разрушения боковин шин, эксплуатируемых с излишне пониженным давлением воздуха, когда тангенциальные деформации боковин становятся слишком интенсивными.

Вследствие этого колесо с эластичной шиной нельзя рассматривать как монолитное отвердевшее тело, для которого можно применять соотношение (3) из курса теоретической механики. Применяя к эластичному колесу принцип отвердевания, его относительное движение необходимо представлять в

О НЕПРАВОМЕРНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО РАДИУСА В ТЕОРИИ КАЧЕНИЯ ЭЛАСТИЧНОГО КОЛЕСА

виде двух твердых тел, шарнирно соединенных между собой – колесного диска 1 (рис. 3) с посадочным диаметром d , вращающегося вокруг точки O с угловой скоростью ω и прикрепленного к нему в точке G рычага 2 длиной $GE=(r_d - 0,5d)$, угловая скорость вращения ω_p которого равна:

$$\omega_p = \omega \cdot \left(\frac{r_k - 0,5d}{r_d - 0,5d} \right). \quad (7)$$

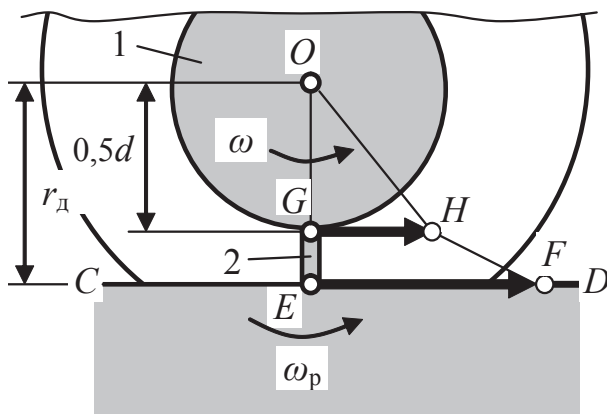


Рис. 3. Представление эластичного колеса в виде двух твердых тел – колесного диска 1 и рычага 2

Fig. 3. Presentation of elastic wheel as two solids - wheeled disk 1 and lever 2

Поступательную скорость т. E такой механической системы в относительном движении нужно определять с помощью соотношения

$$V = 0,5d \cdot \omega + (r_a - 0,5d) \cdot \omega_\delta, \quad (8)$$

которое после подстановки соотношения (7) превращается в выражение (2), согласующееся с определением (1).

Для такой системы применение уравнения (3) неправомерно. Вместо него должно применяться уравнение (2), которое дает правильные результаты.

Что касается противоречия между уравнениями (5) и (6), то следует учесть, что уравнение (6), в которое входит радиус качения r_k , получено из баланса мощности колеса, т.е. что оно вытекает из закона сохранения энергии, который является одним из наиболее фундаментальных законов природы.

Уравнение (5), в которое входит динамический радиус r_d , получено иным способом и оно противоречит уравнению (6), т.е. противоречит закону сохранения энергии. Поскольку до сегодняшнего дня не обнаружено ни одного явления, где бы этот закон нарушался, то «<...> он позволяет получить ряд весьма общих и существенных заключений о свойствах различных механических процессов, не вникая в их детальное рассмотрение с помощью уравнений движения. Если, например, выясняется, что такой-то процесс противоречит законам сохранения, то сразу можно утверждать: этот процесс невозможен и бессмысленно пытаться его осуществить» [32, с.63].

Таким образом уравнение (5), как противоречащее закону сохранения энергии, следует признать ошибочным без каких-либо дополнительных доказательств. Причиной ошибки является все то же неправомерное применение положений теоретической механики, справедливых для монолитных твердых тел, к изображенной на рис. 3 механической системе. Уравнение равновесия такой системы невозможно корректно составить с помощью элементарных геометрических соображений, приводящих к «очевидным» соотношениям (4) и (5). Его необходимо составлять по правилам, применяющимся при составлении уравнений для виртуальной работы. Это было выполнено в работе [26], что подтвердило правильность уравнения (6), а не (5). Благодаря этому нет необходимости при каждом составлении уравнений равновесия колеса вычислять обобщенные силы – достаточно просто применять правильное соотношение (6), где момент сопротивления перекачиванию M_f принимают равным произведению $R_z \cdot a$.

Ошибочность применения динамического радиуса колеса r_d в качестве «силового» радиуса можно продемонстрировать еще на одном простом примере.

Мощность N_k , подведенная к колесу, движущемуся без проскальзывания или буксования, может быть представлена в двух различных системах обобщенных координат:

а) в системе с обобщенной координатой φ (угол поворота колеса) и ее первой производной по времени ω :

$$N_k = M_k \cdot \omega; \quad (9)$$

б) в системе с обобщенной координатой L (путь, проходимый колесом) и ее первой производной по времени V :

$$N_k = P_k \cdot V. \quad (10)$$

Обобщенные координаты L и φ связаны между собой соотношением:

$$\frac{L}{\varphi} = r_k. \quad (11)$$

Уравнения (9) и (10) характеризуют не преобразование мощности вращательного движения в мощность поступательного движения, при котором могли бы существовать какие-то потери, а всего лишь одну и ту же подведенную к колесу мощность N_k в двух различных системах координат. Поэтому правые части выражений (9) и (10) тождественны, откуда следует:

$$M_k = P_k \cdot \frac{V}{\omega} = P_k \cdot r_k. \quad (12)$$

Соотношение (12) свидетельствует о том, что крутящий момент M_k создает силу тяги колеса P_k именно на плече r_k , а не на «геометрически очевидном силовом» плече r_d .

Опираясь на соотношение (11) можно сделать тот же вывод в более общем виде: крутящий момент колеса M_k создает силу тяги P_k на плече, которое численно равно соотношению между обобщенными координатами L и φ , в данном случае равному r_k .

А поскольку динамический радиус r_d не имеет никакого отношения к обобщенным координатам L и φ , то он никоим образом не может применяться в уравнениях силового баланса. Это утверждение, кстати, соответствует духу и букве стандарта [4], в котором термин «динамический радиус колеса» размещен в разделе «Координаты центра колеса ...», но не в разделах, относящихся к его работе.

Предлагаемое разграничение областей применения радиуса качения r_k и динамического радиуса r_d обеспечит следующее:

- полное исключение динамического радиуса r_d из числа параметров, имеющих какое-либо отношение к работе колеса, что устранил путаницу в научно-технической литературе;

- единообразие расчетных формул, при котором повышается доверие к теории качения колеса, исключается возможность получения противоречивых и недостоверных результатов;

- расширение возможностей оценки правильности результатов экспериментальных исследований, что повысит их точность.

ВЫВОДЫ

Динамический радиус r_d , понимаемый как расстояние от центра движущегося колеса до опорной плоскости, характеризует всего лишь вертикальную координату центра колеса. Вследствие этого он должен быть полностью исключен из числа параметров, учитываемых при работе колеса.

Кинематическое и силовое взаимодействие колеса с опорной поверхностью происходит на плече, равном радиусу качения r_k , понимаемому как отношение продольной составляющей поступательной скорости колеса (без учета проскальзывания или буксования) к его угловой скорости вращения.

При определении кинематических, силовых или энергетических показателей работы колеса должен применяться только радиус качения колеса r_k .

Это существенно повысит точность расчетов и доверие к теории качения колеса, устранил неоднозначности и путаницу при аналитическом описании работы колесных движителей, а также даст возможность дополнительного контроля за точностью работы испытательного оборудования, что повысит качество результатов экспериментальных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Włodzimierz Białczyk. 2012: Pość przełożeń w układzie napędowym a walory użytkowe ciągnika rolniczego / Włodzimierz Białczyk, Anna Cudzik, Jarosław Czarnecki, Marek Brennenstul // Lublin, MOTROL. Commission

О НЕПРАВОМЕРНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО РАДИУСА
В ТЕОРИИ КАЧЕНИЯ ЭЛАСТИЧНОГО КОЛЕСА

- of motorization and energetics in agriculture. – Vol. 14. No. 5. – 169-176.
2. Borisenko V.O. 2011: Imitatsiyne modelyuvannya roboti polovikh agregativ // Lublin, MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Vol. 13 V. – 80-86.
3. Petrushov V.A. 1975: Soprotivleniye kacheniyu avtomobiley i avtopoyezdov / V.A. Petrushov, S.A. Shuklin, V.V. Moskovkin. M.: Mashinostroyeniye. – 225.
4. GOST 1972: GOST 17697-72. Avtomobili. Kacheniyе kolesa. Terminy i opredeleniya. – Vved. 1972-05-06. – M.: Izd-vo standartov. – 24.
5. Kutkov G.M. 2004: Traktory i avtomobili. Teoriya i tekhnologicheskkiye svoystva / G.M. Kutkov. – M.: KolosS – 504.
6. Litvinov A.S. 1989: Avtomobil. Teoriya ekspluatatsionnykh svoystv / A.S. Litvinov, Ya.E. Farobin. – M.: Mashinostroyeniye. – 240.
7. Petrushov V.A. 1963: K voprosu o kachenii elastichnogo kolesa po tverdoy opornoy poverkhnosti // Avtomobilnaya promyshlennost. – № 12. – 5-9.
8. Smirnov G.A. 1981: Teoriya dvizheniya kolesnykh mashin / G.A. Smirnov. – M.: Mashinostroyeniye. – 271.
9. Chudakov Ye.A. Teoriya avtomobilya / Ye.A. Chudakov. – M.: Mashgiz, 1950. – 343.
10. Yakovlev N.A. 1962: Teoriya avtomobilya / N.A. Yakovlev, N.V. Divakov. – M.: Vysshaya shkola. – 300.
11. Anilovich V.Ya. 1976: Konstruirovaniye i raschet selskokhozyaystvennykh traktorov / V.Ya. Anilovich, Yu.T. Vodolazhchenko. – M.: Mashinostroyeniye. – 456.
12. Grebnev V.P. 2011: Traktory i avtomobili. Teoriya i ekspluatatsionnyye svoystva / V.P. Grebnev, O.I. Polivayev, A.V. Vorokhobin. – M.: KNORUS. – 264.
13. Loparev A.A. 2002: K voprosu o kachenii kolesa s elastichnoy shinoy. // Traktory i selskokhozyaystvennyye mashiny. – № 4. 26-27.
14. Mukhamadyarov F.F. 2002: Rezhimy i prichinno-sledstvennaya svyaz kacheniya kolesa s elastichnoy shinoy / F.F. Mukhamadyarov, A.A. Loparev, V.I. Sudnitsyn // Traktory i selskokhozyaystvennyye mashiny. – № 2. – 18-21.
15. Podrigalo M.A. 2008: Moshchnost dvigatelya i KPD avtomobilya pri yego razgone / M.A. Podrigalo, N.M. Pod-rigalo, V.L. Fayst // Avtomobilnaya promyshlennost. – № 8. – 12-16.
16. Tsukurov A.M. 2004: Fizicheskaya osnova teorii dvizheniya ATS // Avtomobilnaya promyshlennost. – №10. – 25-27.
17. Traktory. 1988: Teoriya / V.V. Guskov, N.N. Velev, Yu.E. Ata-manov [i dr.]; pod. red. V.V. Guskova. – M.: Mashinostroyeniye. – 376.
18. Podrigalo M.A. 2007: Kacheniyе avtomobilnogo kolesa i opredeleniye ponyatiya «tyagovaya sila» // Avtomobilnaya promyshlennost. – № 1. 25-26.
19. Shchetinin Yu.S. 2003: Vliyaniye vertikalnoy nagruzki na tyagovyye svoystva pnevmaticheskogo kolesa / Yu.S. Shchetinin, V.V. Nikitin // Traktory i selskokhozyaystvennyye mashiny. – № 6. – 18-21.
20. Vakhlamov V.K. 2007: Avtomobili. Ekspluatatsionnyye svoystva / V.K. Vakhlamov. – M.: Akademiya. – 240.
21. Kuzmitskiy A.V. 2001: Koleso: rezervy energosberezheniya // Traktory i selskokhozyaystvennyye mashiny. – № 2. 27-29.
22. Moskovkin V.V. 2001: Dinamicheskiy faktor ili tyagovo-dinamicheskaya kharakteristika? / V.V. Moskovkin, Ye.N. Vokhminov, D.E. Vokhminov, Ye.A. Galevskiy // Avtomobilnaya promyshlennost. – № 1. – 7-9.
23. Grishkevich A.I. 1986: Avtomobili. Teoriya / A.I. Grishkevich. – Mn. – Vyshey-shaya shkola. – 208.
24. Dinamika 1976: Dinamika sistemy doroga – shina – avtomobil – voditel / A.A. Khachaturov, V.L. Afanasyev, V.S. Vasilyev [i dr.]; pod red. A.A. Khachaturova. – M.: Mashinostroyeniye. – 535.
25. Rabota 1976: Rabota avtomobilnoy shiny / V.I. Knoroz, Ye.V. Klennikov, I.P. Petrov [i dr.]; pod red. V.I. Knoroza. – M.: Transport. – 238.
26. Pozhidayev S.P. 1979: K voprosu o protivorechii mezhdu balansom moshchnosti i uravneniyami ravnovesiya kolesa pod deystviyem prilozhennykh k nemu sil i momentov / S.P. Pozhidayev, P.G. Lyashenko // Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khazyaystva: Resp. mezhvedomstv. tem. nauch.-tekhn. sb. – K.: Urozhay. – Vyp. 45. – 60-70.
27. Stankevich E.B. 1987: Zavisimost silovogo nagruzheniya kolesa ot yego geometricheskikh

- parametrov. // Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva. – № 9. 6-9.
28. Goncharenko S.V. 2007: Identifikatsiya shin po ekspluatatsionnym pokazatelyam / S.V. Goncharenko, Z.A. Godzhayev, E.B. Stankevich [i dr.] // Traktory i selkhoz mashiny. – № 7. 16-19.
29. Zaytsev S.D. 2008: Tyagovo-stsepnyye kachestva vysokoelastichnykh shin sverkhnizkogo davleniya / S.D. Zaytsev, S.V. Goncharenko, L.S. Streblechenko, V.I. Pryadkin, A.B. Kostin // Traktory i selskokhozyaystvennyye mashiny. – № 9. 29-31.
30. Zaytsev S.D. 2010: Eksperimentalnaya otsenka tyagovo-stsepnykh kachestv shirokoprofilnoy shiny / S.D. Zaytsev, L.S. Streblechenko, S.V. Goncharenko, V.I. Pryadkin // Traktory i selkhoz mashiny. – № 8. – 25-27.
31. Ivanov V.G. 2000: O potentsialnykh si-lakh v kontakte koleasa s dorogoy / V.G. Ivanov, V.G. Butylin // Avtomobilnaya promyshlennost. – № 11. – 12-15.
32. Irodov I.E. 1978: Osnovnyye zakony mekhaniki / I.E. Irodov. – M.: Vysshaya shkola. – 240.

ABOUT ILLEGAL APPLICATION OF DYNAMIC RADIUS IN THEORY OF ELASTIC WHEEL ROLLING

Summary. An error in theory of elastic wheel rolling is considered. It is use of dynamic radius instead of rolling radius. It is shown that application of dynamic radius in description of elastic wheel is illegal.

Key words: elastic wheel, rolling radius of the wheel, the dynamic radius.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕТАНОВОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО СУБСТРАТА

Ольга Дубровина

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15

Olga Dubrovina

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Рекомендации по биотехнологии сбраживания сложных субстратов на основе отходов животноводства и перерабатывающей отрасли ограничены и не служат основой для разработки биотехнологического оборудования. Исследования биотехнологического процесса ферментации многокомпонентных субстратов имеют методические особенности. В сравнении исследованы одно- и двухкомпонентный субстраты на основе куриного помета, а также установлен верхний предел количества нового субстрата. Разведение куриного помета сывороткой позволяет повысить количество сбраживаемого сухого вещества без снижения стабильности реализации биотехнологического процесса.

Ключевые слова: биогаз, многокомпонентный субстрат, сбраживания куриного помета с сывороткой, биотехнология сбраживания.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Биотехнология сбраживания растительной биомассы в виде кукурузного силоса отработана достаточно хорошо и освещены в литературных источниках информации [1,4,7]. Что касается сложных субстратов биогазового производства на базе отходов животноводства, птицеводства и перерабатывающей отрасли (молочного, мясного и масложирового сегментов), то тут рекомендации ограничены, как правило, общими формулировками и не могут быть использованы в виде основы для разработки биотехнологического оборудования.

Потому объектом исследования выбраны технология и оборудование для метанового сбраживания отходов животноводства, птицеводства и перерабатывающей отрасли (мо-

лочного, мясного и масложирового ее сегментов) для получения биогаза, как возобновляемого источника энергии, а также высококачественных органических удобрений. Так как реализация промышленной биогазовой установки предусмотрена в ОП НУБиП Украины «Агрономическая опытная станция», для разработки выбраны составляющие субстратов, которые есть в наличии в хозяйстве или на расстоянии не более 50 км от него. В процессе проведенных опытов, была проанализирована биогазовая продуктивность метаногенных бактерий при сбраживании разных субстратов навоза КРС, птичьего помета (куриного, перепелиного), сыворотки, а также глицероловой фазы после производства биодизельного топлива. В сравнении с другими носителями энергии, биогаз отличается своей перспективностью, особенно, для сельской местности (табл. 1).

В то же время, биотехнология метановой ферментации имеет особенности, учтенные при реализации программы экспериментальных исследований эффективности метаногенеза разных субстратов.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ BIOTEХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ФЕРМЕНТАЦИИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СУБСТРАТОВ

Процесс отбора образцов для исследований существенно влияет на конечные результаты. Он непосредственно связан с параметрами лабораторных реакторов и аналитического оборудования.

Учитывая рабочую емкость ферментеров (по 25 литров каждый) отбор птичьего помета производили на ОАО «Птицефабрика «Васильковская» непосредственно на технологической линии удаления отходов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕТАНОВОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ
МНОГОКОМПОНЕНТНОГО СУБСТРАТА

Таблица 1. Энергетическая характеристика биогаза в сравнении с другими носителями энергии [1]

Table 1. Energy characteristic of biogas in comparison with other energy carriers

Наименование энергоносителя	Ед. измерения	Эквивалент 1 м ³ неочищенного биогаза, 23 МДж/м ³	Эквивалент 1 м ³ очищенного биогаза 35,2 МДж/м ³
Спирт	дм ³	1,10	1,70
Бензин	дм ³	0,73	1,10
Электроэнергия	кВт*час	0,620	0,940
Природный газ	м ³	0,61	0,93
Уголь	кг	0,82	1,25

Периодичность отбора – дважды в месяц – обусловлена возможностью использования не только свежего, но и частично высушенного органического ресурса птицефабрики. Количество единожды отобранного птичьего помета в герметично закрытую емкость – не менее 12 кг (для загрузки 2-х лабораторных реакторов). Период полного замещения субстрата в реакторах – 25 суток при вытеснении и 30 суток в условиях стабилизации процесса ферментации.

Образцы для определения кислотности рН, влажности и содержания сухого вещества до и после сбраживания отбирались в количестве до 1 кг с последующим определением показателей по общепринятым методикам [6,7].

Количество подаваемого субстрата для ферментации, подготовка проб, количество и периодичность отбора субстрата после сбраживания, а также добавление новой порции субстрата были обусловлены методикой. Процесс запуска на новом субстрате производили путем вытеснения разведенного навоза КРС на протяжении 25 суток. Общее количество предварительно загруженного в реактор разведенного субстрата составляла 25 кг (по 1 кг в сутки). Подачу субстрата в метантенк производили ежедневно в период с 9.00 до 10.00. Перед загрузкой отобраный куриный помет из герметичной емкости в объеме по 400 г смешивали с водой (1-й вариант) и сывороткой (2-й вариант) в количестве по 600 г соответственно. То есть каждый раз загружали примерно 4% общего рабочего объема биогазового реактора и такую

же часть переработанного субстрата сливали (при вытеснении). В условиях стабилизации биотехнологического процесса загрузку осуществляли в одно и то же время, но брали 350 г помета и 480 г воды, в соответствии с фактической влажностью субстратов, из расчета обеспечения 30-ти дневной экспозиции исследуемых в реакторах субстратов. Стабилизация режима работы реакторов после замещения субстрата происходила примерно через 45 дней с начала экспериментальных исследований.

Предыдущими поисковыми исследованиями установлено, что через 60–70 дней с начала работы в биореакторах при температуре 40°C [2,6] стабилизируется маточная культура мезофильных метаногенерирующих бактерий, которые перерабатывают органическое сырье со стойкой биогазовой продуктивностью.

Периодичность и способ перемешивания биосырья при анаэробном сбраживании зависит как от общих характеристических показателей биотехнологии, так и от параметров самого биореактора [5,8]. Учитывая незначительную рабочую емкость биогазового реактора (25 л), в результате проведенных поисковых исследований [3,7] установлена целесообразность 2-кратного перемешивания субстрата, а именно: сразу после ежедневной загрузки новой порции субстрата (примерно в 10.00) и в 18.00. Каждый из реакторов оснащен механической мешалкой, которая обеспечивает 1,8 оборота в минуту на протяжении 5 минут каждый час.

Показатели, которые контролировались в процессе исследований ежедневно:

- температура субстрата в реакторе;
- количество добавляемого субстрата;
- количество сливаемого субстрата;
- количество биогаза за сутки;
- состав биогаза по 3–м основным показателям (O_2 , CH_4 , CO_2).

Показатели, определяемые периодически:

- pH субстрата на входе и выходе;
- содержание сухого вещества до и после сбраживания.

Параметры рабочего режима каждого метантенка (биореактора) приведены в таблице 2. В процессе поискового эксперимента установлена верхняя граница количества нового субстрата, она составляет 4%. Этот показатель использовали только при вытеснении других субстратов. Стабилизация биотехнологического процесса анаэробной ферментации в вертикальном лабораторном биореакторе происходит при подаче 3,0–3,5% нового субстрата суточной одноразовой дозы.

Правильность прохождения биотехнологического процесса ферментации контролировалась оценкой количества метана в биогазе. Более точным путем контроля реализации процесса является измерение летучих жирных кислот методом газовой хроматографии, который является слишком затратным для хозяйственного использования. Бескислородная переработка органических веществ ведет к образованию летучих жирных кислот, которые во второй фазе ферментации превращаются в метан.

Экспериментальные исследования завершены оценкой возможностей применения определенного органического сырья в определенных пропорциях для получения в процессе метаногенеза высококачественных жидких биоудобрений.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Оценка биогазовой продуктивности многокомпонентных субстратов в условиях ОП НУБиП Украины «Агрономическая опытная станция» произведена с учетом целесообразности одновременной переработки отходов фермы КРС, птицефабрики, молочного завода и лаборатории дизельного биотоплива, согласно с ТЗ по соглашению № 07/06 – 008 от 25 ноября 2007 г. Между Университетом и ЗАО «Энергетический Альянс».

Объем исследований может быть большим, при условии задействования небольших лабораторных биореакторов, которые используются в специализированных лабораториях Центральной Европы (рис. 1).

Дополнительно лабораторно определены параметры отдельных многокомпонентных субстратов до и после сбраживания, которые характеризуют интенсивность прохождения биотехнологического процесса ферментации биосырья. Все пробы были исследованы на сухое вещество и кислотность субстрата pH.

Они отбирались на протяжении десяти дней после стабилизации процесса, а потом периодически (дважды в месяц) производился их контроль.

Таблица 2. Режимные параметры работы вертикального биореактора (мезофильный метаногенез)

Table 2. Operational parameters of the vertical bioreactor (mesophilic methanogenesis)

Наименование параметра	Стадии процесса		
	I (гидролиз)	II (кислое сбраживание)	III (метаногенез)
Температура сбраживания, °C	20–40	30–40	30–40
Перемешивание:			
– кратность, раз в сутки	2	2	2
– продолжительность цикла, мин.	5	5	5
– способ	механич.	механич.	механич.
– скорость, об/мин.	8	8	8
Режим загрузки	Периодический – раз в сутки с 9.00 до 10.00		
Доза суточной загрузки, %	3,33–4,00	3,33–4,00	3,33–4,00



Рис. 1. Общий вид стандартного лабораторного биогазового ферментера (BOKU, Австрия)
Fig. 1. General view of a standard laboratory biogas fermenter (BOKU, Austria)

При заправке свежего субстрата и сливании отработанного, отбирали по одной пробе из каждого реактора и в 3–х кратной повторности определяли соответствующие показатели. Произведена оценка состояния субстрата до ферментации.

Непосредственно на исследование направлялся субстрат – куриный помет, разведенный водой (в первом варианте) и разведенный сывороткой (во втором варианте) до необходимой концентрации сухого вещества. Основные начальные характеристики субстрата на входе приведены в таблице 3.

Лабораторными экспериментами исследованы в сравнении одно– и двухкомпонентные субстраты на основе куриного помета. Определены параметры этих субстратов до и после сбраживания (табл. 4). В проведенных научно–исследовательских работах были параллельно задействованы два идентичных метантенка, из которых состоит установка БУ–1.

Следует заметить, что в курином помете около 5% минеральной части. Исследованиями установлено, что разведение куриного помета сывороткой позволяет повысить количество сбраживаемого сухого вещества без снижения стабильности реализации биотехнологического процесса, что позитивно вли-

яет на количество выработанного бактериями биогаза. В процессе выполнения лабораторных экспериментальных исследований на установке БУ–1, тщательно контролировался температурный режим, так как именно от температуры зависит стабильность биотехнологического процесса и, как результат, выход и качество биогаза. Установлено, что рациональным режимом работы для биогазового реактора является режим при температуре около 40°C. Снижение и повышение температуры приводит к нарушению стабильности процесса и снижению метановой продуктивности субстратов.

Характеристика биотехнологического процесса анаэробной ферментации субстратов на основе птичьего помета и качества произведенного биогаза приведена ниже. Установлены показатели выхода биогаза и возможности обеспечения стабильного процесса метановой ферментации птичьего помета на воде. Птичий помет при его разбавлении водой до 12–14% сухого вещества может эффективно ферментироваться в биореакторе с выделением биогаза в количестве 0,735 литра в сутки из единицы рабочего объема (1 л) реактора при условии ежедневной заправки до 4% нового субстрату.

Таблица 3. Характеристика биосырья перед ферментацией
Table 3. Feature biosyrya before fermentation

Наименование показателя	Ед. измерения	Значение показателя для	
		помета	сыворотки
Количество сухого вещества	%	33,0	4,7
Углеродный показатель	pH	6,58	4,1

Таблица 4. Основные параметры субстрата до и после анаэробного сбраживания
Table 4. Main parameters of the substrate before and after the anaerobic digestion

Наименование показателя	Ед. измер.	Значение показателя	
		до	после
Количество сухого вещества в растворе помета в воде	%	13,07	8,71
Количество сухого вещества в растворе помета в сыворотке	%	16,63	11,34
pH раствора помета в воде		6,24	8,34
pH раствора помета в сыворотке		5,67	7,89

За время экспозиции (30 дней) метаногенными бактериями переработана значительная часть органического сухого вещества. В результате выполнения данного биотехнологического процесса после ферментации субстрата количество сухого вещества составило на 4,36% меньше, а кислотность pH выросла до 8,34. Стабильность процесса на протяжении месяца работы биореактора характеризовалась незначительными колебаниями основных измеряемых показателей количества и качества биогаза (рис. 2).

Исследована продуктивность метаногенных бактерий по выделению биогаза при сбраживании птичьего помета с отходами молочного производства. Установлено, что птичий помет при его разбавлении сывороткой до уровня 15–17% сухого вещества может эффективно ферментироваться в биореакторе с выделением биогаза в количестве 1,036 литра за сутки с единицы рабочего объема (1 л) реактора при условии ежедневной заправки до 4% нового субстрата. За время экспозиции перерабатывается значительная часть органического сухого вещества: после ферментации количество сухого вещества составляет на 5,29% меньше, а значение pH субстрата увеличилось в этом случае до 7,89. За время экспозиции (30 дней) метаногенными бактериями переработана значительная часть органического сухого вещества. В результате выполнения данного биотехнологического процесса после фер-

ментации субстрата количество сухого вещества составило на 4,36% меньше, а кислотность pH выросла до 8,34. Стабильность процесса на протяжении месяца работы биореактора характеризовалась незначительными колебаниями основных измеряемых показателей количества и качества биогаза (рис. 2).

Исследована продуктивность метаногенных бактерий по выделению биогаза при сбраживании птичьего помета с отходами молочного производства. Установлено, что птичий помет при его разбавлении сывороткой до уровня 15–17% сухого вещества может эффективно ферментироваться в биореакторе с выделением биогаза в количестве 1,036 литра за сутки с единицы рабочего объема (1 л) реактора при условии ежедневной заправки до 4% нового субстрата. За время экспозиции перерабатывается значительная часть органического сухого вещества: после ферментации количество сухого вещества составляет на 5,29% меньше, а значение pH субстрата увеличилось в этом случае до 7,89. Определено, что стабильность биотехнологического процесса на протяжении месяца работы реактора характеризуется незначительными колебаниями основных показателей биогаза по количеству и качеству измеряемых составляющих.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕТАНОВОЙ ФЕРМЕНТАЦИИ
МНОГОКОМПОНЕНТНОГО СУБСТРАТА

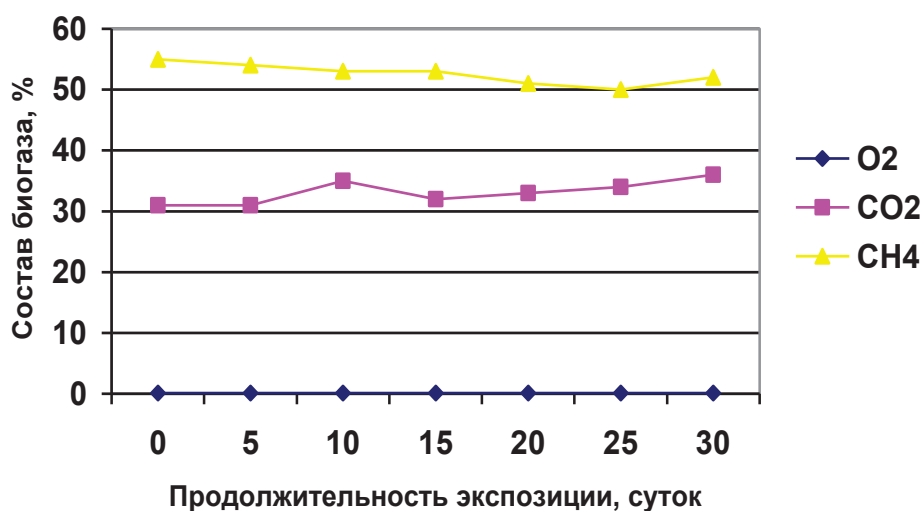


Рис. 2. Относительное изменение количества (в %) метана (CH₄), углекислого газа (CO₂) и кислорода (O₂) в биогазе из птичьего помета на воде при 30-ти днях экспозиции
Fig. 2. The relative change amount (%) of methane (CH₄), carbon dioxide (CO₂) and oxygen (O₂) in the biogas of poultry manure water at 30 days of exposure

Таблица 5. Общий выход и характеристика составляющих биогаза при сбраживании куриного помета на воде и сыворотке

Table 5. Overall yield and characteristics of the components of biogas during the fermentation of chicken manure on the water and serum

Наименование показателя	Единица измерения	Значение показателя	
		помет на воде	помет на сыворотке
Удельное количество биогаза при сбраживании субстрата	м ³ /м ³	0,735	1,036
Биогазовая продуктивность при сбраживании субстрата	м ³ /т с.р.	505,74	587,53
Содержание метана CH ₄ в биогазе	%	54,5	57,5
Содержание углекислого газа CO ₂ в биогазе	%	32	29,6
Содержание кислорода O ₂ в биогазе	%	0,16	0,17

Устойчивость выделения метана (CH₄) составляла ± 3,8%, углекислого газа (CO₂) – ± 6,0% и кислорода (O₂) – ± 0,1%.

По результатам лабораторных экспериментальных исследований определены показатели метановой продуктивности обозначенных выше субстратов при их анаэробной ферментации при расчете на 1 кг сухого вещества. Определен общий выход и характеристики биогаза при сбраживании куриного помета на воде и сыворотке. Результаты приведены в табл. 5.

ВЫВОДЫ

В результате исследований установлено технологическую целесообразность:

- коферментации навоза КРС, птичьего помета с другими субстратами;
- использования горизонтальных метантенков для снижения энергетических издержек на поддержание мезофильного процесса;

– использование маточных биогазовых установок малой мощности периодического действия с подогревом субстратов;

– определения рациональных пропорций составляющих многокомпонентных субстратов и дифференциации режимов работы биогазовых установок при использовании разных видов сырья.

Исследованиями процессов метанового сбраживания установлено, что:

– наиболее продуктивными для генерации биогаза является экспонентная фаза метанового сбраживания (3–5 суток) и часть фазы замедления роста. Общий период этих фаз составляет от 7 до 15 суток. Потому в конце фазы замедления роста рекомендуется добавление свежего субстрата;

– при сбраживании навоза КРС с ростом температурного режима период экспозиции сокращается с 14–15 суток при 40°C до 11 суток при 55°C.

ЛИТЕРАТУРА

- Schattauer, A. und Weiland, P., 2003: Grundlagen der anaeroben Fermentation. In: Handreichung Biogasgewinnung und –nutzung, Endbericht, Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow
- Bioenergiya v Ukraini – rozvitok silskikh teritoriy ta mozhlivosti dlya okremikh gromad: Naukovo-metodichni rekomendatsii shchodo vprovadzhennya peredovogo dosvidu agrarnikh pidpriemstv Polshchi, Litvi ta Ukraini zi stvorenniya novitnikh obyektiv bioenergetiki, efektyvnogo virobnitstva i vikoristannya biopaliv / Za red. Dubrovina V.O., Anni Gzhibek ta Lyubarskogo V.M. – Kaunas: IAE LUA, 2009. – 120.
- Biologichni 2010: Biologichni resursi i tekhnologii virobnitstva biopaliva: Monografiya / Ya.B. Blyum, G.G. Geletukha, I.P. Grigoryuk,, K.V. Dmitruk, V.O. Dubrovin, A.I. Yemets, G.M. Zabarniy, G.M. Kaletnik, M.D. Melnichuk, V.G. Mironenko, D.B. Rakhmetov, A.A. Sabirniy, S.P. Tsigankov – K: "Agrar Media Grup". – 408.
- Vikoristannya 2008: Vikoristannya biomasi na yenergetichni potrebi v silskomu gospodarstvi. Biogazovi tekhnologii. - Doslidnitske: UkrNDIPVT im. L. Pogorilogo. - 72.
- Golub G.A., Dubrovina O.V., Ruban B.O., Voytenko V.O. Tekhnichne zabezpechennya virobnitstva biogazu / Zbirnik naukovikh prats Vinnitskogo natsionalnogo agrarnogo universitetu. Seriya: Tekhnichni nauki. – Vinnitsya, 2012. – Vip. 10. – 186. – 17-19.
- Ratushnyak G.S., Dzhezhdzula V.V. Kontrol parametriv temperaturnikh naporiv v odno– ta bagatofaznikh seredovishchakh //Visnik VPI. – 2005. – № 6. – S. 193–195.
- Rukovodstvo po biogazu. Ot polucheniya do ispolzovaniya / Spetsialnoye agentstvo vozobnovlyayemykh resursov (FNR). 5-e izdaniye. – Gyultsov: Germaniya, 2012. – 213.
- Tekhnologii ta obladnannya dlya vikoristannya ponovlyuvanikh dzherel yenerгии v silskogospodarskomu virobnitstvi: Navchalniy posibnik / Za red. Kravchuka V.I., Dubrovina V.O. – Doslidnitske: UkrNDIPVT im. L.Pogorilogo. – 2010. – 184. (vid NUBiP Ukraini: V.Dubrovin, M.Melnichuk, V.Mironenko, P.Yevich, S.Dragnev).
- Encyclopedia 2001: Encyclopedia of Physical Science and Technology, 3rd Edition, Biotechnology / Editor Robert A. Meyers – Academic Press Edition: 3rd. – 911.
- Engineering 2001: Engineering and Manufacturing for Biotechnology Series: Focus on Biotechnology, Vol. 4 / Hofman, M.; Thonart, P. (Eds.) – Springer. – 496.
- Targonya V. 2010: Algoritm rozroblennya biotekhnologichnoi skladovoi biokonversnogo kompleksu / V. Targonya // Tekhniko-tekhnologichni aspekti rozvitku ta viprobuvannya novoi tekhniki i tekhnologiy dlya silskogo gospodarstva Ukraini: zbirnik naukovikh prats UkrNDIPVT im. L. Pogorilogo. – Vip. 14 (28). – 348–356.
- Mikrobiologicheskiye 1981: Mikrobiologicheskiye problemy zamknutykh ekologicheskikh sistem / [Gitelzon I.I., Mandkovskiy I.S., Pankova I.N. i dr.]. – Novosibirsk: Nauka, – 197.
- Pogoriliy L. 2003: Shlyakhi stabilizatsii ta vidtvorenniya potentsialu agroyekosistem / L. Pogoriliy, V. Targonya // Visti Akademii inzhenernikh nauk Ukraini. – № 2. – 15–20.
- Diercks R. 1994: Inteuzierter Landbau / R. Diercks, R. Heitefuss; BLB Verlagsyell – schaft mbH. Munchen. – 432.
- Rotshteyn O.P. 2008: Soft computing v biotekhnologii: bagatofaktorniy analiz i diag-

nostika / O.P. Rotshteyn, С.Р. Laryushkin, Yu.I. Mityushkin – Vinnitsya: UNIVERSUM – Vinnitsya, – 144.

15. Flys I. 2010: Engineer project management of production and processing complexes / I. Flys – Motrol, 12. – 75–81.

16. Vernadskiy V.I. 1994: Zhivoye veshchestvo i biosfera / V.I. Vernadskiy – M.: Nauka. – 672.

17. Lemets V.I. 1998: Sistemnyy analiz. Vvodniy kurs / V.I.Lemets, A.D. Tevyashchev – Kharkiv. derzh. tekhn. un-t radioyelekt. – Kh.: – 252.

18. Ladanyuk A.P. 2004: Osnovi sistemnogo analizu / A.P. Ladanyuk – Vinnitsya: Nova kniga. – 176.

19. Ivakhnenko A.G. 1975: Dolgosrochnoye prognozirovaniye i upravleniye slozhnyimi sistemami / A.G. Ivakhnenko. – K.: Tekhnika. – 310.

20. Novoseltsev V.N. 1978: Teoriya upravleniya i biosistemy. Analiz sokhranitelnykh svoystv / V.N. Novoseltsev – M.: Nauka.– 320.

21. Kravchuk V. 2008: Scientific support of development of technologies and technical means for ecologization of agricultural production on the basis of cenological approach / V. Kravchuk, V. Targonya, V. Dubrovin // Biosystems Engineering and Processes in Agriculture: 13-th International Conf. Institute of Agricultural Engineering LUA Raudondvaris, 25-26 September. – 278-284.

Key words: biogas, multicomponent substrate, co-fermentation of chicken manure and whey, biotechnology of fermentation.

RESULTS METHANE MULTICOMPONENT SUBSTRATE FERMENTATION

Summary. Recommendations on multicomponent substrates fermentation biotechnology are limited and do not provide a basis for the development of biotechnology's equipment. Biotechnological process of multicomponent substrates fermentation has methodical features. Study compares one and two components substrates based on chicken manure, it determines the upper limit of new substrate portion. Dilution of chicken manure with whey increases fermented amount of dry matter without biotechnological process stability reduction.

РАСЧЕТ ЛИНИИ УБОРКИ НАВОЗА ПРИ БЕСПРИВЯЗНОМ СОДЕРЖАНИИ КРС

Геннадий Голуб¹, Василий Хмельёвский¹, Николай Икальчик², Николай Шаблій²

¹*Національний університет біоресурсів і природопользовання України*

Україна, г. Київ, ул. Героїв Оборони, 15

²*ОП НУБіП України "Нежинський агротехнічний інститут"*

Україна, г. Нежин, ул. Шевченко, 10

Gennadiy Golub¹, Vasyl Hmelyovskiy¹, Nikolay Ikalchik², Nikolay Shabliy²

¹*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine

²*OI NULES of Ukraine "Nyzyn Agrotechnical Institute"*

Shevchenko Str., 10, Nyzyn, Ukraine

Аннотация. В статье проведен расчет скреперной установки для уборки навоза в условиях беспривязного содержания КРС; проведен анализ ее работы и предложены пути повышения эффективности; согласованы условия работы транспортеров поточной линии удаления навоза из коровника, установлены зависимости периодов включения в работу продольного, поперечного и наклонного транспортеров.

Ключевые слова: линия, навоз, скрепер, транспортер, эффективность.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Удаление навоза из животноводческих помещений достаточно трудоемкая и энергоемкая операция. Навоз – важнейшее органическое удобрение, исследуется процесс вермикомпостирования подстилочного навоза [1]. Санитарное состояние помещения фермы и животных зависит от своевременного и полного удаления навоза [2-4]. Существует несколько способов навозоудаления [5-8], но максимальную эффективность и удобство очистки коровников демонстрируют стационарные дельта-скреперные установки [9-13].

Рациональная работа продольного, поперечного и наклонного транспортёров скреперной установки для уборки навоза достигается при согласованности их за производительностью, скоростью движения и временным показателям. Они и являются исходными показателями для автоматизации процесса удаления навоза из животноводческих помещений.

Поэтому обоснование технологической схемы процесса и согласование работы оборудова-

ния для уборки навоза является важной научной проблемой.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Теоретические исследования процесса удаления навоза из фермы описаны в работах Брагинца А.М. [14], Ревенка И.И., Брагинца М.В., Ребенка В.И. [15], Марченка О.С. [16] и других.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Снижение эксплуатационных затрат путем взаимосогласованности включения транспортёров.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Нами был проанализирован график почасового накопления навоза группой из 65 коров [17].

Учитывая полученные данные проведем расчет скреперной установки для уборки навоза [18-20].

Длина тягового органа скреперной установки равна:

$$L_n = L_1 + L_2 + L_3 + L_4, \quad (1)$$

где: L_1 - длина навозного канала, м; L_2 - длина цепи участка холостого движения, м; L_3 - поперечное расстояние между поворотными роликами, м; L_4 - расстояние между приводной звездочкой и поворотным роликом участка холостого движения, м.

Данные указаны на расчетной схеме на рисунке 1. Зная количество животных и схему размещения, определяем длину навозных каналов:

$$L_1 = M_p \cdot l_{cn} + l_{вых} + l_{вх}, \quad (2)$$

где: M_p – количество животных в одном ряду вдоль помещения, гол; $l_{ст}$ – ширина стойла (1,1...1,4 м); Принимаем $l = 1,2$ м.

$l_{вых}$ – ширина выхода коров в доильный зал, м; $l_{вх}$ – ширина для входа (возвращения) коров из доильного зала, м;

Определяем максимальное количество навоза, который вместится в навозный канал:

$$G_{max} = a \cdot b \cdot L_1 \cdot \rho \cdot \psi, \quad (3)$$

где: a – глубина канала, м; b – ширина канала, м; ρ – плотность навоза, кг/м³; ψ – коэффициент заполнения канала (0,6...0,7).

Находим площадь поперечного сечения канала:

$$a \cdot b = \frac{G_{max}}{4l \cdot \rho \cdot \psi}. \quad (4)$$

Глубина открытых каналов, исходя из условий безопасности для животных принимается от 0,1 до 0,2 м. Мы приняли $a = 0,2$ м.

Необходимая подача определяется по формуле:

$$Q_n = \frac{G_{доб}}{T_u \cdot K} = \frac{G_{доб} \cdot V_n}{L \cdot K} = \frac{G_{доб} \cdot V_n}{(C_1^1 + C_1^2 + C_1^3 + C_1^4) \cdot K}, \quad (5)$$

где: Q_n – необходимая подача скреперной установки, кг/м; T_u – продолжительность одного цикла уборки, с; K – кратность уборки навоза; L – расстояние которое проходит скрепер за один цикл работы, м; V_n – средняя скорость движения цепи скреперной установки, м/с; C_1^1 – длина первого рабочего хода скрепера, м; C_1^2 – длина первого холостого хода скрепера, м; C_1^3 – длина второго рабочего хода скрепера, м; C_1^4 – длина второго холостого хода скрепера, м.

Рекомендовано принимать V меньше или равное 0,18 м/с с целью безопасности животных. Принимаем $V_n = 0,18$ м/с.

Кратность уборки $K = 2...6$. Большее значение K принимается в том случае, когда навоз подается в навозохранилище стационарными средствами. Исходя из графика накопления навоза, принимаем $K = 5$. Определим необходимую подачу скреперной установкой при уборке навоза согласно разработанному графику. Исходя из графика, максимальный объем накопленного навоза за интервал между уборками составляет 868 кг. Проведем расчет поперечного скребкового транспортера для уборки навоза. Схема транспортера показана на рисунке 1. Длина тягового органа транспортера будет:

$$L^{nn} = L_1^{nn} + L_2^{nn} + L_3^{nn} + L_4^{nn}, \quad (6)$$

где: L^{nn} – длина цепи поперечного транспортера, м; L_1^{nn} – длина рабочего участка навозного канала поперечного транспортера, м; L_2^{nn} – длина участка холостого хода навозного канала поперечного транспортера, м; L_3^{nn} , L_4^{nn} – расстояние между каналом рабочего участка и участка холостого хода поперечного транспортера, м;

Определяем количество навоза, которое транспортирует поперечный транспортер за 1 цикл (оборот):

$$G_{nn} = a^{nn} \cdot b^{nn} \cdot L_1^{nn} \cdot \rho \cdot \psi, \quad (7)$$

где: G_{nn} – разовая подача поперечным скребковым транспортером (за 1 оборот), кг; a^{nn} – высота скребка поперечного транспортера, м; b^{nn} – ширина скребка поперечного транспортера, м;

Необходимая подача поперечного скребкового транспортера непрерывного движения, определяется по формуле:

$$Q_{nn} = \frac{G_{раз. max. n}}{T_u}, \quad (8)$$

где: Q_{nn} – необходимая подача поперечного транспортера, кг/с; $G_{раз. max. n}$ – разовая максимальная подача одним скрепером скреперной установки, кг; T_u – продолжительность одного цикла уборки, с;

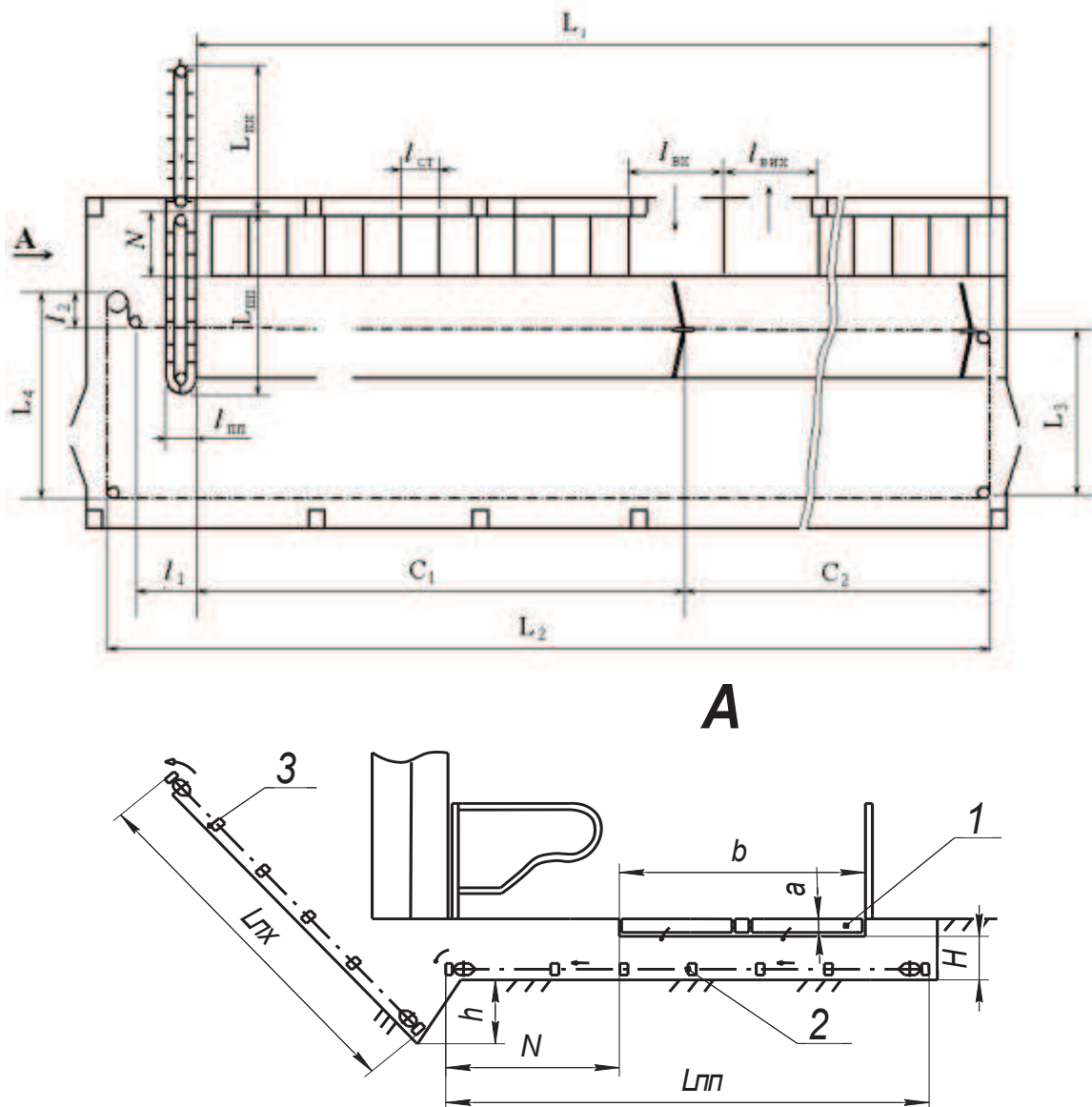


Рис. 1. Расчетная схема линии уборки навоза при беспривязном боксовом содержании КРС:
Fig. 1. Design scheme of line of manure removal at Box Loose cattle breeding:
 1 - скреперная установка; 2 - поперечный транспортер; 3- продольный транспортер

Если навоз убирать своевременно, согласно разработанному графику то из продольного скрепера на поперечный транспортер будет передаваться 868 кг. навоза, но у нас 2 скрепера, то с 1 скрепера будет подаваться 434кг.

Продолжительность одного цикла T_u (с) будет:

$$T_u = \frac{L^{mn}}{V^{mn}}, \quad (9)$$

где: V^{mn} – средняя скорость движения цепи поперечного транспортера, м/с. Принимаем $V^{mn} = 0,46 \text{ м/с}$.

Определим количество оборотов поперечного транспортера

$$K = \frac{G_{\text{раз. max. n}}}{G_{mn}}. \quad (10)$$

Проведем расчет наклонного скребкового транспортера для уборки навоза. Схема транспортера показана на рисунке 1. Длина наклонного транспортера $L_{nx} = 6,5 \text{ м}$.

Определяем количество навоза, которую транспортирует наклонный транспортер за 1 цикл (оборот):

$$G_{nx} = a^{nx} \cdot b^{nx} \cdot L_1^{nx} \cdot \rho \cdot \psi, \quad (11)$$

где: G_{nx} - разовая подача наклонным транспортером (за 1 оборот), кг; a^{nx} - высота скребка наклонного транспортера, м; b^{nx} - ширина скребка наклонного транспортера, м.

Необходимая подача наклонного скребкового транспортера непрерывного движения, определяется по формуле:

$$Q_{nx} = \frac{G_{раз. nx. n}}{T_{ц. nx}}, \quad (12)$$

где: Q_{nx} - необходимая подача поперечного транспортера, кг/с; $G_{раз. nx. n}$ - разовая максимальная подача одним скрепером скреперной установки, кг; $T_{ц. nx}$ - продолжительность одного цикла уборки, с.

Если навоз убирать своевременно, согласно разработанному графику то с поперечного транспортера на наклонный транспортер будет передаваться 434 кг. навоза.

Продолжительность одного цикла $T_{ц. nx}$ (с) будет:

$$T_{ц. nx} = \frac{L^{nx}}{V^{nx}}, \quad (13)$$

где: V^{nx} - средняя скорость движения цепи наклонного транспортера, м/с. Принимаем $V^{nx} = 0,72 \text{ м/с}$.

Определим кратность оборотов наклонного транспортера:

$$K = \frac{G_{раз. nx. n}}{G_{nx}}. \quad (14)$$

Продольная скреперная установка работает в режиме возвратно-поступательного движения, а следовательно навоз попадает на поперечный транспортер периодически, определенными объемами два раза за один цикл. Следовательно, будет нерационально если поперечный и наклонный транспортеры будут постоянно работать, будут перерасходы электроэнергии, преждевременный износ подшипников, скребков и т.д.

Нужно рассчитать периодичность попадания объема навоза на поперечный транспортер и периодичность включения и выключения поперечного и наклонного транспортеров. А потом соответственно этим расчетам отрегулировать автоматику включения скреперной уста-

новки, поперечного и наклонного транспортеров. Это и является нашей задачей, которую мы решаем.

Удельная нагрузка на продольную скреперную установку будет:

$$q_{II} = \frac{Q_{II}}{V_{II}}. \quad (15)$$

Удельная нагрузка на поперечный транспортер будет:

$$q_{III} = \frac{Q_{III}}{V_{III}}. \quad (16)$$

Допустим, что удельная нагрузка поперечного транспортера равняется удельной нагрузке продольной скреперной установки $q_{III} = q_{II}$, кроме того удельная нагрузка равномерна по длине транспортера, а скорости движения будут в соотношениях

$$V_{III} = V_{II}, V_{III} > V_{II} \text{ и } V_{III} < V_{II}. \quad (17)$$

где: q_{II} - удельная нагрузка продольной скреперной установки, кг/м; q_{III} - удельная нагрузка поперечного транспортера, кг/м; V_{III}, V_{II} - скорости движения соответственно поперечного транспортера и продольной скреперной установки, кг/м.

В связи с тем, что на поперечный транспортер подается навоз из продольной скреперной установки можно записать:

$$q_{III} V_{III} = q_{II} V_{II} \text{ или } q_{III} = q_{II} \frac{V_{II}}{V_{III}}. \quad (18)$$

В первом случае, когда скорости транспортеров равны, то удельные нагрузки транспортеров тоже равны.

Необходимая скорость транспортера определяется допустимой удельной нагрузкой т.е.:

$$V_{III} > V_{II} \frac{q_{II}}{q'_{III}}, \quad (19)$$

где: q'_{III} - допустимая удельная нагрузка поперечного транспортера; $\alpha_v = \frac{V_{II}}{V_{III}}$ - коэффициент скорости, которая характеризует соотношение скоростей транспорте-

ров; $\alpha_q = \frac{q_{II}}{q_{III}}$ - коэффициент загрузки, кото-

рая характеризует соотношение удельных нагрузок транспортеров.

Тогда действительная и допустимая загрузки и скорости поперечного транспортера запишем так:

$$q_{III} > \alpha_v q_{II}, \quad (20)$$

$$V_{III} \geq \alpha_q V_{II}. \quad (21)$$

При этих условиях поперечный транспортер будет работать без заторов навоза.

Необходимым условием нормальной работы линии удаления навоза есть условие, отсутствия заторов навоза на поперечном транспортере [5]:

$$q_{II\text{MAX}} \leq q_{III\text{MAX}}, \quad (22)$$

где: $q_{III\text{MAX}}$ - максимально допустимая нагрузка поперечного транспортера.

В производственных условиях фермы, которая рассматривается (рис. 1) из продольных навозных каналов навоз убирается продольной скреперной установкой, а из поперечного канала – скребковым транспортером кругового движения, в этом случае скорость и допустимая нагрузка разные, поскольку скреперная установка работает в режиме порционной подачи навоза [2]. При этом согласованность работы этих транспортеров представляет накопление навоза на поперечном транспортере и разрыве потока на протяжении времени уборки навоза на животноводческой ферме.

Поперечный транспортер может включаться в этом случае после продольного с интервалом времени:

$$t_{II,III} \leq \frac{C_1}{V} + t_B \leq \frac{C_1}{V} + \xi \sqrt{\frac{2H}{g}}, \quad (23)$$

где: C_1 - расстояние от начала захвата навоза участком скрепера к поперечному транспортеру, м; V – скорость движения продольной скреперной установки с навозом, м/с, t_B - время свободного падения навоза с продольной скреперной установки на поперечный транспортер, с; H – высота падения навоза с продольной скреперной установки на поперечный транспортер, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; ξ - коэффициент, который учитывает

влияние конструктивных элементов транспортера и каналов на свободное падение навоза.

Общеизвестное условие поступления навоза с горизонтального поперечного транспортера на наклонный

$$q_{II} V_{II} = q_{III} V_{III}, \quad (24)$$

или

$$q_{III} = \frac{q_{II} V_{II}}{V_{III}}, \quad (25)$$

где: q_{II} - удельная нагрузка навозом наклонного транспортера, кг/м; q_{III} - удельная нагрузка навозом поперечного транспортера, кг/м; V_{III} , V_{II} - скорости движения транспортеров, соответственно поперечного и наклонного, м/с.

Удельная нагрузка на наклонный транспортер равна:

$$q_{II} = \frac{Q_{II}}{V_{II}}, \quad (26)$$

$$V_{II} > V_{III} \frac{q_{III}}{q'_{II}}, \quad (27)$$

где: q'_{II} - допустимая удельная нагрузка наклонного транспортера, кг/м;

$$\alpha_v = \frac{V_{III}}{V_{II}} - \text{коэффициент скорости,}$$

которая характеризует соотношение скорости транспортеров;

$$\alpha_q = \frac{q_{III}}{q_{II}} - \text{коэффициент загрузки,}$$

которая характеризует соотношение удельных нагрузок транспортеров.

Тогда действительная и допустимая загрузки и скорости поперечного транспортера запишем так:

$$q_{II} > \alpha_v q_{III}, \quad (28)$$

$$V_{II} \geq \alpha_q V_{III}. \quad (29)$$

При этих условиях поперечный транспортер будет работать без заторов навоза.

Необходимым условием нормальной работы линии удаления навоза, когда отсутствуют заторы навоза на поперечном транспортере, является:

$$q_{III\text{MAX}} \leq q_{II\text{MAX}}, \quad (30)$$

где: $q_{III\text{MAX}}$ - максимально допустимая нагрузка поперечного транспортера, кг/м; $q_{II\text{XMAX}}$ - максимально допустимая нагрузка наклонного транспортера, кг/м;

В производственных условиях применяют однотипные транспортеры ТСН-2,0Б, ТСН-3,0Б, ТСН-160 и др. Важным условием работы транспортеров при допустимой скорости движения цепи и допустимой продольной нагрузке и согласовании работы есть исключение наложения навоза или разрыва потока на наклонном транспортере вовремя всего периода работы. Это возможно при условии, что наклонный транспортер включается после поперечного горизонтального с интервалом времени:

$$t_{III\text{IIIX}} \leq \frac{N}{V_{III}} + t_B \leq \leq \frac{N}{V_{III}} + \xi \sqrt{\frac{2h}{g}}, \quad (31)$$

где: $t_{III\text{IIIX}}$ - интервал времени с которым включается наклонный транспортер после поперечного, с; V_{III} - скорость движения поперечной цепи транспортера с навозом, м/с; t_B - время свободного падения навоза с поперечного горизонтального на наклонный транспортер, с; h - высота падения навоза с поперечного горизонтального на наклонный транспортер, м; g - ускорение свободного падения м/с²; N - расстояние от начала захвата навоза участком поперечного транспортера до наклонного транспортера, м; ξ - коэффициент, который учитывает влияние конструктивных элементов транспортера и каналов на свободное падение навоза.

Продолжительность работы транспортеров через сутки, можно определить по формуле:

$$T = \frac{Q_{\text{доб.}}}{G_i}, \quad (32)$$

где: $Q_{\text{доб.}}$ - суточное накопление навоза на ферме, т; G_i - производительность i -го транспортера, т/ч; [4].

Общее время работы текущей линии удаления навоза при условии исключения заторов и разрывов потока навоза, который поступает порционно из продольной скреперной установки на поперечный транспортер, а из него на наклонный запишем так:

$$T_{\text{цтл}} = \frac{3C_1}{V_{II}} + \xi_{II} \sqrt{\frac{2H}{g}} + \frac{N}{V_{III}} + + \xi_{II} \sqrt{\frac{2h}{g}} + \frac{L_{II\text{X}}}{V_{II\text{X}}} \cdot K_{II\text{Xза1вкл.}} \quad (33)$$

где: $K_{II\text{Xза1вкл.}}$ - количество оборотов наклонного транспортера за одно включение; $T_{\text{цтл}}$ - время цикла технологической линии, мин.

Продолжительность работы продольной скреперной установки за сутки:

$$T_{\text{заг}} = T_{\text{цтл}} \cdot K_n, \quad (34)$$

где: $T_{\text{заг}}$ - общее время работы скреперной установки, мин.

Ведь для качественной и своевременной уборки навоза из помещения где содержатся 65 коров с однорядным боксовым содержанием, и для согласования работы продольной скреперной установки поперечного и наклонного транспортеров необходимы такие условия (табл. 1).

ВЫВОД

Проведен анализ взаимного согласования работы транспортеров поточной линии удаления навоза из коровника.

Установлена зависимость периодов включения в работу продольного, поперечного горизонтального и наклонного транспортеров. Определено общее время работы поточной линии удаления навоза.

Инновационный уровень средств механизации уборки навоза на животноводческих фермах закладывается на стадии проектирования, путем обеспечения научно-технической новизны, реализации требований инновационного уровня, конкурентоспособности и углубленных маркетинговых исследований. Это обеспечивает ускорение процессов организации серийного производства оборудования и внедрение научных исследований в производство.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dubrovin V.O. 2010: Obruntuvannya parametriv biotekhnologichnogo protsesu vermikompostuvannya pidstilkovogo gnoyu ta obladdnannya dlya yogo realizatsii /

Табл. 1. Условия для взаимодействия оборудования для уборки навоза при боксовом содержании

Tab. 1. Conditions for the interaction of equipment for manure removal in the box livestock

№ п/п	Параметры	Продольная скреперная установка	Поперечный транспортер	Наклонный транспортер
1.	Количество голов КРС	65	65	65
2.	Размеры скрепера (скребка), м: - ширина - высота	3,3 0,15	0,25 0,056	0,25 0,056
3.	Шаг скребков, м	38	1,15	0,46
4.	Скорость движения цепи, м/с	0,18	0,46	0,72
5.	Продолжительность цикла, с (мин)	1022 (17)	32 (0,5)	32 (0,5)
6.	Количество циклов через сутки	5	80	100
7.	Необходимая подача массы за единицу чистого времени, т/ч, (кг/с)	0,05 (0,85)	0,84 (14)	0,84 (14)
8.	Длина тягового органа, м	188	14,6	13
9.	Разовая подача за 1 цикл (с одного скрепера), кг	868 (434)	53	49
10.	Удельная нагрузка, кг/м	4,7	30,4	33
11.	Продолжительность работы за сутки, мин	85	40	50

V.O. Dubrovin, V.S. Targonya, O.O. Shevchenko // MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin, Vol. 12B, 27-34.

2. Zoogigiyenicheskiye 1986: Zoogigiyenicheskiye normativy zhivotnovodcheskikh dlya obyektov : Spravochnik / G. K. Volkov, V. M. Repin, V. I. Bolshakov [i dr.]; Pod red. G. K. Volkova. – M.: Agropromizdat, – 303.

3. Giyena 1996: Giyena tvarin / M. V. Demchuk, M. V. Chorniy, M. P. Visokos, Ya. S. Pavlyuk ; Za red. M. V. Demchuka. – K.: Urozhay, – 384.

4. Dovidnik 2002: Dovidnik z tekhnologiy ta menedzhmentu v tvarinnitstvi / Za red. prof. Yu. D. Rubana. – Kharkiv: Yespada. – 572.

5. Kulik M.F. 1994: Osnovi tekhnologii virobnitstva produktzii tvarinnitstva : Prakt. posib. / M. F. Kulik, T. V. Zasukha / K. : Silgosposvita. – 432.

6. Vertiychuk A.I. 1995: Tekhnologiya virobnitstva produktzii tvarinnitstva / A.I. vertiychuk, M.I. Matsenko. – K. : Urozhay, – 376.

7. Tekhnologiya 2001: Tekhnologiya virobnitstva produktzii tvarinnitstva: Pidruchnik / O. T. Busenko, V.D. Stolyuk, M.V. Shtompel [ta

in.]; za red. O.T. Busenka. – K.: Agrarna osvita. – 432.

8. Buzun I.A. 1989: Potokovi tekhnologii virobnitstva moloka / I.A. Buzun. – K.: Urozhay, – 192.

9. Boltyanskaya N. 2012: Puti razvitiya otrasli svinovodstva i povysheniye konkurentosobnosti yeye produktzii / Natalya Boltyanskaya // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Vol. 14, No 3, 164-175.

10. Posibnik-praktikum 1994: Posibnik-praktikum z mekhanizatsii virobnitstva produktzii tvarinnitstva / I. I. Revenko, V. M. Manko, S. S. Zarayska ; za red. I. I. Revenka. – K. : Urozhay, – 288.

11. The basics 2008: The basics of dairy cattle production / Dorte Marcussen, Annette Krog Laursen; translator: Gitte Grand Graversen; editorial group of the English version: Stewart Grant; editor of the English version: Pernille Ryge Koch. - 1. edition. - Århus: Landbrugsforslaget: Dansk Landbrugsrådgivning, Landscentret, - 240.

12. Belyanchikov N.N. 1990: Mekhanizatsiya zhitovnovodstva i kormoprivotovleniya / N.N. Belyanchikov, A.I. Smirnov. – 3-e. izd., pererab. i dop. – M. : Agropromizdat. – 432.
13. Spravochnik 1990: Spravochnik po mekhanizatsii i avtomatizatsii v zhitovnovodstve i ptitsevodstve / A. S. Marchenko, G. Ye. Kisten Yu. N. Lavrinenko [i dr.]; Pod red. A. S. Marchenka. – K.: Urozhay, – 456.
14. Braginets A.N. 1996: Obosnovaniye parametrov i razrabotka konstruksii ustanovki dlya ochistki stoyl: avtoref. diss. na soiskaniye uch. stepeni kand. tekhn. nauk: spets. 05.20.01 "Mekhanizatsiya selskokhozyaystvennogo proizvodstva" / Braginets Andrey Nikolayevich; Tavricheskaya gosudarstvennaya agrotekhnicheskaya akademiya. - Melitopol, - 25.
15. Revenko I.I. 2009: Mashini ta obladnannya dlya tvarinnitstva: pidruchnik / Revenko I.I., Braginets M.V., Rebenko V.I. – K.: Kondor, – 731.
16. Marchenko O.S. 1995: Mekhanizatsiya ta avtomatizatsiya u tvarinnitstvi i ptakhivnitstvi / O.S.Marchenko. - K.: Urozhay, – 416.
17. Ikalchik M.I. 2013: Analiz protsesu pribirannya gnoyu za bezpriv'yaznogo utrimannya VRKh / M.I. Ikalchik // Naukoviy visnik Tavriyskogo derzhavnogo agrotekhnologichnogo universitetu. – Melitopol, – Vip. 3 T. 1. – 37-42
18. Proyektuvannya 2011: Proyektuvannya mekhanizovanikh tekhnologichnikh protsesiv u tvarinnitstvi: navchalniy posibnik z vikonannya diplomnikh proyektiv z mekhanizatsii tvarinnitstva na osvitno-kvalifikatsiyomu rivni «Bakalavr» / I. M. Bendera, V. P. Lavruk, S. V. Yarmakov [ta in.]; Za red. I. M. Benderi, V. P. Lavruka. – Kamyanets Podilskiy: FOP Sisin O. V. – 564.
19. Kovalev N.G. 1989: Proyektirovaniye sistem utilizatsii navoza na kompleksakh / N.G. Kovalev, I.K. Glazkov. – M.: Agropromizdat, – 160.
20. Proyektuvannya 1999: Proyektuvannya mekhanizovanikh tekhnologichnikh protsesiv tvarinnitskikh pidpriemstv: Navch. posibnik dlya studentiv vishch. agrar. zakhodiv osviti 3-4 rivniv akreditatsii zi spets. «Mekha-nizatsiya sil. gospva» (spetsializatsiya «Mekhanizatsiya tvarinnitstva») / I. I. Revenko, V. D. Rogoviy, V. I. Kravchuk [ta in.]; Za red. I. I. Revenka. – K. : Urozhay, – 192.
21. Zenkov R.L. 1987: Mashiny nepreryvnogo transporta / Zenkov R.L., Ivashkov I.I., Kolobov L.N. - M.: Mashinostroyeniye, – 431.

CALCULATION OF LINE MANURE LOOSE CATTLE

Summary. In paper calculated the scraper systems for manure removal in loose housing of cattle, analyzed its work and the ways of improving the efficiency, negotiate the terms of the production line conveyors removal of manure from the barn, the dependence on period in the work of longitudinal, transverse and inclined conveyors.

Key words: technology, manure, scraper, conveyor, efficiency.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПО ПАРАМЕТРАМ ТОКСИЧНОСТИ

Юрий Герасимчук

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

Yuriy Gerasimchuk

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Для получения более полной и достоверной информации о рабочем процессе при исследовании двигателей внутреннего сгорания разработана и изготовлена система автоматического отбора проб газа непосредственно из цилиндра двигателя. Система газоотбора полностью автоматизирована с возможностью одновременного определения 24-х параметров в бензиновых и дизельных поршневых ДВС, включая роторно-поршневые, которая может обеспечить одноразовый, многократный и непрерывный отбор проб газа с возможностью последующего химического анализа.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания (ДВС), отработавшие газы, электромагнитный газоотборный клапан, частей на миллион (млн^{-1}), экологические показатели.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В последние десятилетия на транспортные средства устанавливаются поршневые бензиновые двигатели и дизели, которые составляют более 90% (из них 70% бензиновые ДВС) от общего количества тепловых двигателей. Поэтому в ближайшее время существенное уменьшение загрязнения воздуха возможно достичь путем проектирования менее токсичных автотракторных двигателей, производство которых настроено и полностью отработано [5, 19].

Рациональное решение для снижения токсичности автотракторных двигателей невозможно выбрать без ясного представления о механизме образования токсических веществ в цилиндре двигателя.

В применении к ДВС анализ газов используют при исследовании состава отработавших газов с целью оценки полноты сго-

рания топлива, токсичности двигателей и определения величины коэффициента избытка воздуха по продуктам сгорания. Поэтому современные лаборатории анализа газов оснащают разнообразной аналитической аппаратурой. Не утратила своего значения и методика анализа по разовым пробам газа, которая нуждается в постоянной модернизации и усовершенствованию [8, 9, 15, 21].

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Известно большое количество схем газоотборных клапанов, которые позволяют получить пробы газа из цилиндра двигателя: механические, с гидроприводом, пневмоэлектрические, пиротехнические, на основании движущихся дисков и др.

Недостатком указанных схем есть то, что они не обеспечивают дозированный отбор пробы газа высокооборотистых ДВС, более инерционны, относительно дорогие в производстве, не обеспечивают отбор газа в автоматическом режиме, что затрудняет делать отбор проб газа в автотракторных ДВС.

Газоотборный клапан с механическим или гидравлическим приводом, учитывая сложную систему рычагов, тяг и трубопроводов высокого давления очень громоздки, конструктивно сложны, что есть большой преградой при монтаже их непосредственно на двигатель.

Это дало огромный толчок для проектирования и исследования новых систем газоотбора и непосредственно газоотборных клапанов таких конструкций, которые исключали выше перечисленные недостатки [2, 12, 16, 22].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

В данной работе поставлена задача по расширению функциональных возможностей газоотборного комплекса (ГК) который дает возможность проводить полное исследование токсичности с одновременным определением 24-х параметров в бензиновых и дизельных поршневых ДВС, включая роторно-поршневые. Цель достигается путем полной автоматизации ГК при сборе данных работы двигателя и установкой электромагнитного газоотборного клапана (ЭМГК) для получения проб газа из цилиндра двигателя с дальнейшим определением в ней токсических компонентов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При исследовании двигателей проектируемый ГК позволяет провести более точное измерение и регистрацию параметров работы двигателя при исследовании, а также его токсичность. При этом определяется расход топлива и воздуха, атмосферное давление, высокое и низкое давление в топливной системе, положение дроссельной заслонки и топливной рейки, давление и температуру во впускном трубопроводе и выпускном коллекторе, крутящий момент, частоту вращения коленчатого вала и ее неравномерность, фиксирует процесс детонации, температуру охлаждающей жидкости, давление и температуру масла в системе смазки. По заранее установленной программе задаются параметры срабатывания ЭМГК (начало и конец срабатывания клапана и длительность в открытом состоянии), и проводится запись перемещения ЭМГК с одновременной регистрацией давления в цилиндре (индексирование). Программные возможности ГК позволяют регистрировать, записывать и обрабатывать в зависимости от угла поворота коленчатого вала (КВ) поточные значения давления в цилиндре P_z , температуры T_z , удельного объема v , части прореагировавшего топлива x , скорости сгорания ω , отношения теплоемкостей K , действительного коэффициента молекулярного изменения μ . Определяются также индикаторные и эффективные показатели рабочих циклов двигателя

($P_i, \eta_i, g_i, N_i, P_e, \eta_m, \eta_e, N_e$ и g_e) [1, 2, 13, 22].

На рис.1 представлен газоотборный комплекс в состав которого входят:

- топливный бак 1, электробензо насос 2, регулятор давления топлива 3, катушка зажигания 6, электромагнитная форсунка 7, автомобильный контролер 8, дроссельная заслонка 23, датчик положения дроссельной заслонки или рейки топливного насоса (дизели) 22;

- система отбора проб газа из цилиндра ДВС, которая состоит из электронного блока управления (ЭБУ) клапаном 13, управляемым кнопкой отбора пробы 14, клавиатура 15, кнопки количества отобранных проб 16, длительностью открытия клапана 17, началом открытия клапана 18, индикатор 19, кнопка включения питания 20, кнопка установки режим газоотбора 21, ЭМГК 28, датчика перемещения ЭМГК 27;

- приборов и датчиков для определения параметров работы двигателя (датчика давления в топливной магистрали 4, расходомера топлива 5, расходомера воздуха 24, датчика разрежения во впускном трубопроводе 25, датчика температуры воздуха на впуске 26, датчика частоты вращения КВ 29, датчика положения КВ 30, датчик определения крутящего момента ДВЗ 31, датчика неравномерности вращения КВ 32, барометра атмосферного давления 34, датчика детонации 35, датчика температуры охлаждающей жидкости 36, датчика давления в цилиндре 37, датчика температуры отработавших газов (ОГ) 38);

- системы регистрации, автоматического вычисления и печати (аналого-цифровой преобразователь 12, электронно-вычислительная машина 10, записывающий прибор 11, принтер 9);

- зубчатый венец маховика 33 [17, 18].

Газоотборный комплекс функционирует следующим образом. С помощью контроллера 8 устанавливается программа управления режимом работы ДВС (цикловая подача топлива, момент зажигания или подачи топлива угол открытия дроссельной заслонки или положение рейки и др.). От контроллера управления двигателем 8 подается сигнал на электронный блок управления 13 ЭМГКом. К блоку 13 также поступает импульс от дат-

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПО ПАРАМЕТРАМ ТОКСИЧНОСТИ

чика частоты вращения КВ 29. В электронном блоке управления 13 устанавливается момент и длительность срабатывания ЭМГК 28. Импульс на ЭМГК подается через 280^0 - 480^0 после переднего фронта сигнала с контроллера и может регулироваться с помощью кнопки 18 и клавиатуры 15, а длительность импульса находится в пределах 5...10 мс и может изменяться с помощью соответственно кнопок 12 и 15. Переключателем 21 электронный блок обеспечивает три режима работы: одноразовый, многократный и ручной. При выборе одноразового отбора и нажатии на кнопку 14 на ЭМГК подается один импульс.

При многократном отборе количество импульсов задается с помощью кнопки 16. Ручной режим отбора проб газа устанавливается с помощью переключателя 21 и происходит при удержании кнопки 14 в нажатом состоянии. Режимы и параметры работы ЭМГК (начало и длительность отбора, режим работы, количество срабатываний ЭМГК при многократном отборе), которые устанавливаются с помощью ЭБУ газотборным клапаном 13, фиксируется на инди-

каторе 19. Информация с контроллера 8, ЭБУ 13, расходомера топлива 5, расходомера воздуха 24, барометра атмосферного давления 34, датчиков работы систем ДВЗ (давления топлива 4, положения дроссельной заслонки 22, разрежения у впускном трубопроводе 25, температуры воздуха на впуске 26, перемещения ЭМГКа 27, частоты вращения КВ 29, положения КВ 30, величины крутящего момента ДВС 31, неравномерности вращения КВ 32, детонации ДВС 35, температуры охлаждающей жидкости 36, давления в цилиндре двигателя 37, температуры ОГ 38) при срабатывании ЭМГК результаты обрабатывается с помощью АЦП и передается на ЭВМ, записываются на жесткий диск, а результаты распечатываются на принтере (Патент № 72969).

При проектировании и испытании ЭМГК, а также системы газоотбора в целом были выдвинуты ряд требований согласно их работы [4, 8, 15, 17]:

Обеспечить отбор пробы такого объема из цилиндра двигателя, необходимого для получения достоверной информации о наличие токсических составляющих в ОГ.

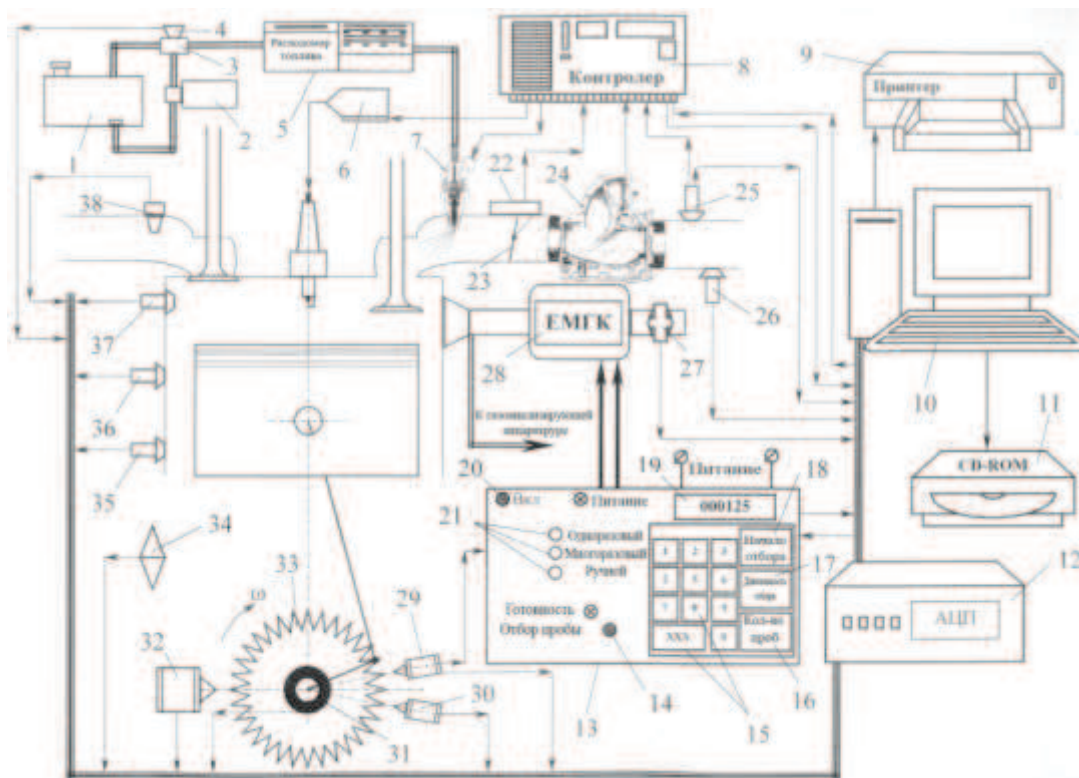


Рис. 1. Схема газоотборного комплекса для исследования ДВС

Fig. 1. Chart of gas complex for research of ICE

- Обеспечить регулирование и контроль длительности фаз отбора проб газа при срабатывании газоотборного клапана на работающем двигателе на такте сжатия и расширения.

- Четко отслеживать моменты открытия-закрытия ЭМГК до заданных условий программы исследований (частоты вращения КВ).

- Обеспечить надежную работу газоотборного клапана в камере сгорания при температуре 1900...2700К, учитывая также, что давление в цилиндре изменяется на тактах сжатие-расширение в пределах 7...0,1 МПа.

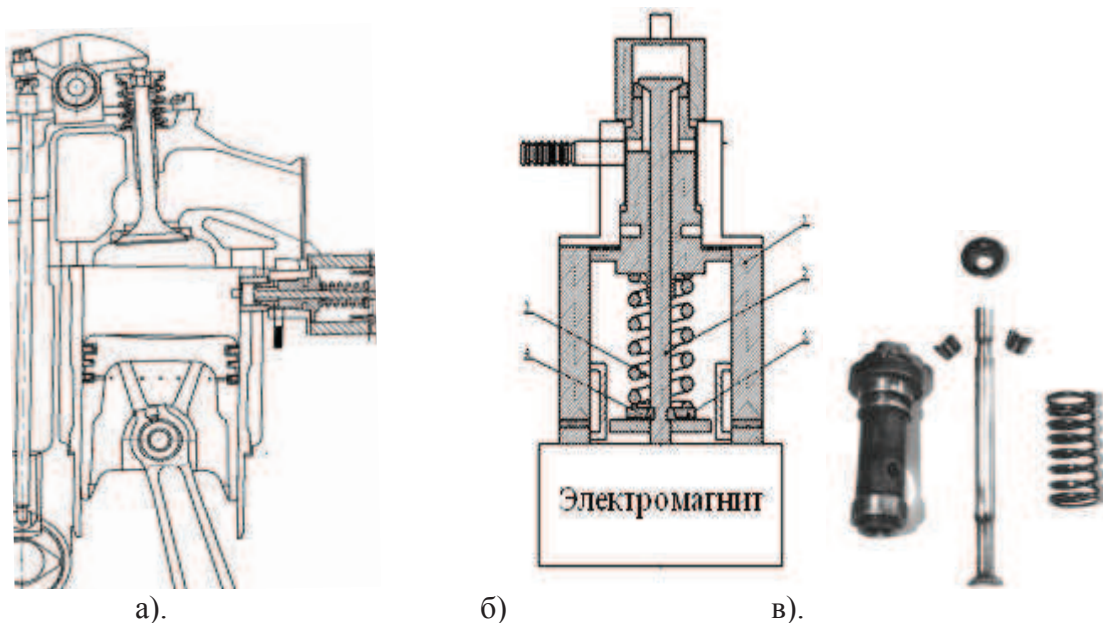
- Обеспечить полную герметичность системы газоотбора и исключить проникновение газов и воздуха из атмосферы.

- Система газоотбора и ее составляющие должны быть простыми в изготовлении и обслуживании при условии надежной и безотказной работы.

На основе этих критериев была разработана и изготовлена конструкция системы газоотбора с электромагнитным управлением газоотборного клапана (ЭМГК), которая позволяет удовлетворить выше перечисленные требования и взять пробу газа в период

такта расширения из цилиндра ДВС рабочего цикла. Схема размещения ЭМГК непосредственно в цилиндре ДВС представлена на рис. 2 а., а его устройство и внешний вид соответственно на рис. 2. б, в (Патент № 51494).

Основные составляющие электрической схемы ЭБУ представлено на рис. 3. Схема выполнена на однокристальном микроконтроллере PIC16F84A. Микроконтроллеры серии PIC представляют собой недорогие, высокопродуктивные, полностью статичные, 8-розрядные КМОП с RISC архитектурой, которые устанавливают промышленный стандарт 5MISP (миллионов операций в секунду). Микроконтроллер PIC16F84A с тактовой частотой 20 МГц, а все команды, которых всего 35, исполняются за 1 цикл ~ 400 нс. Уникальная возможность микроконтроллера PIC – это многократное перепрограммирование памяти (число циклов перезаписи 1000000) с помощью программатора. Это позволяет очень легко вносить необходимые коррективы в работу программы на любом этапе проектирования и производстве изделия.



а). б). в).

Рис. 2. Схема электромагнитного газоотборного клапана
Fig. 2. Chart of the of electromagnetic valve for taking of gases

а. размещение газоотборного клапана в цилиндре ДВС;

б, в. устройство газоотборного клапана и его внешний вид:

1 - корпус; 2 - клапан; 3 - пружина; 4 - сухарик; 5 - упорная шайба.

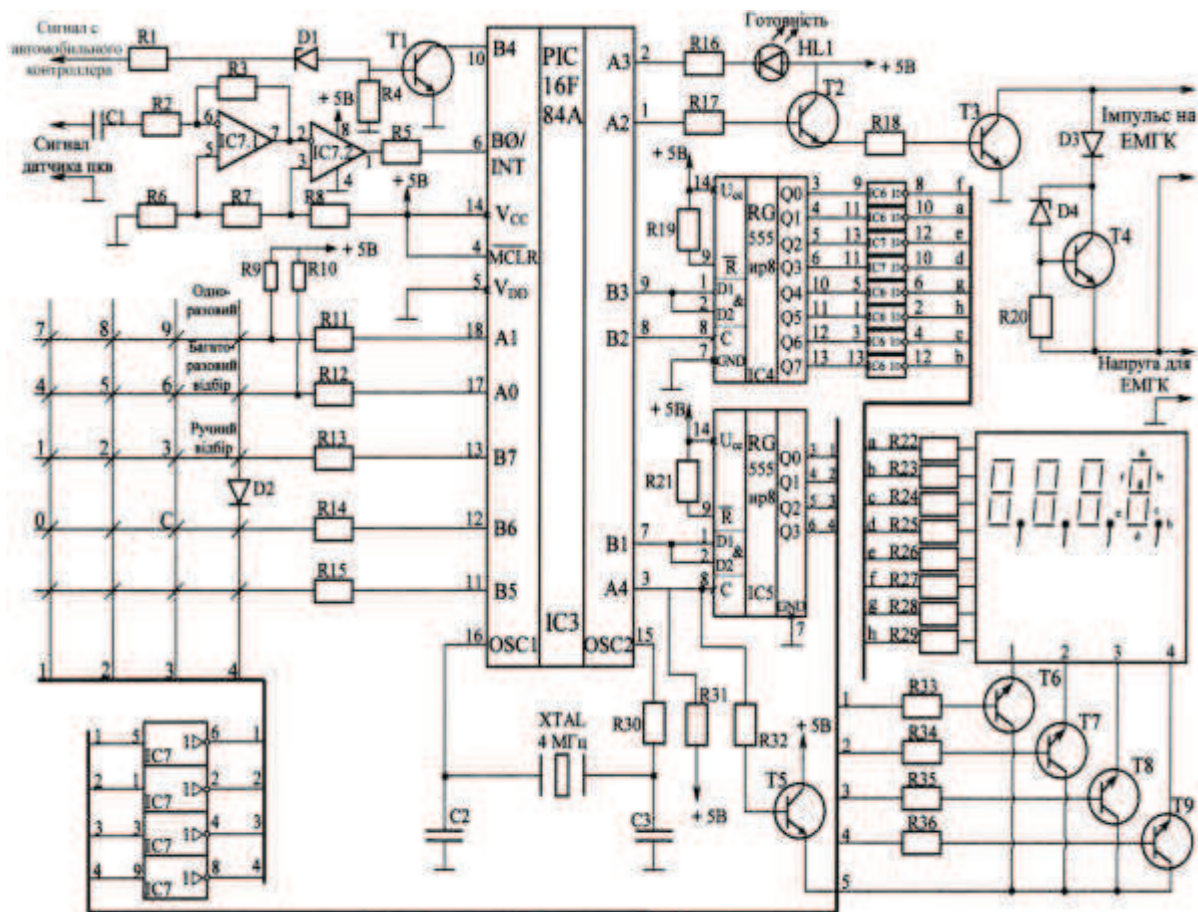


Рис. 3. Схема электронного блока управления ЭМГК
Fig. 3. Chart of electronic CU of EVTG

Рассмотрим подробно работу электрической схемы блока управления ЭМГК, которая представлена на рис. 3:

- Микросхема PIC16F84A, в которой хранится программа работы прибора, а также параметры, которые задаются клавиатурой – количество зубьев датчика КВ, угол поворота в момент подачи импульса на ЭМГК (в град), длительность импульса (в мс), и количество импульсов.

- Силовой каскад для подачи напряжения на клапан: резисторы R17, R18, R20, транзисторы T2, T3, T4, диод и стабилитрон D4. При подаче логической единицы (+5 В) на разряде A2 микросхемы PIC16F84A, выходной транзистор T3 подает напряжение 60 В на электромагнит клапана 17, при этом сила тока ~1,5 А. Транзистор T4 защищает выходной транзистор (T3) в момент закрытия от перенагрузки электродвижущейся силы (ЭДС) индукции катушки клапана. Стабилитрон D4 создает остаточное напря-

жение, которое способствует быстрому погашению индуктивной силы тока. Преобразователь уровня напряжения на входе сигнала с форсунки 5 (контролера 7): резисторы R1, R4, стабилитрон D1, транзистор T1, а также резистор на +5 В в середине микросхемы PIC16F84A. На входе: подается напряжение +12 В (когда форсунка закрыта) и приблизительно +2 В (когда форсунка открыта). На выходе схемы формируется напряжение логического нуля и единицы (ноль и +5 В) в зависимости от того на сколько напряжение превышает на входе границу +5,6В.

- Усилитель сигнала с датчика угла поворота: конденсатор C1, резисторы R2, R3, R5, R6, R7, R8, и микросхема операционного усилителя КР1446УД1. Зубья 2 ферромагнитного диска наводят индуктивное напряжение в катушке датчика 1, которое потом проходит через конденсатор C1 (разделяя сигнал по постоянной силе тока), усиливается первым каскадом микросхемы IC1.1, а

второй каскад IC1.2 работает как компаратор, формируя логичный ноль (0 В) и единицу (+5 В).

- Генератор тактовой частоты: конденсаторы С2, С3, кварцевый резонатор на 4 МГц, резистор R30 и усилитель внутри микросхемы PIC16F84А, который дает старт для выполнения рабочей программы, а также является началом отсчета и длительности импульса в мс.

- Интерфейс клавиатуры и индикации: две микросхемы (IC4, IC5) регистра смещения КР555ИР8, две микросхемы (IC6, IC7) инверторов с открытым коллектором КР155ЛА3, транзисторы Т5-Т9, диод D2, резисторы R9-R15, R19, R21-R29, R31-R36, четыре 7-сегментные индикаторы (АЛС324Б1) 10 с общим анодом, клавиатура 14 и кнопки 8, 11, 12, 13.

- Схема управления ЭМГК работает следующим образом: процессор записывает «бегущую» единицу в регистр IC5, эта единица выбирается нулевым уровнем одну колонку матрицы клавиш, и одновременно подает напряжение на анод одной из цифр. Сегменты выбранной цифры светятся относительно единиц, которые предварительно записаны в регистр IC4. Процессор отрабатывает задержку времени 512 мкс, а потом анализирует клавиши выбранной колонки и считывает информацию на входах А1, А0, В7, В6, В5. Входы А1 и А2 соединены с резисторами R9, R10, а входы В7, В6, В5 - резисторами внутри микросхемы на +5 В. Когда кнопка 15 (отбор пробы) отпущена, то промежуток считается как логическая единица, а когда кнопка 15 нажата, то логический ноль с открытого коллектора микросхемы IC7 проходит на относительный разряд процессора PIC16F84А. Потом процессор гасит все индикаторы транзистором Т5, записывая значения сегментов следующей цифры в регистр IC4, и снова происходит свечение индикатора, сместив «бегущую» единицу на один разряд – цикл повторяется со следующей цифрой и следующей колонкой кнопок.

- Индикатор (светодиод) готовности HL1, и ограничительный резистор R16, загораются относительно программы, одновременно с работой газоотборного клапана.

- Стабилизатор напряжения состоит из микросхемы КР142ЕН5А, конденсаторов С4-С7, индикатора HL2, резистора R37 – он формирует напряжение +5В, необходимую для работы микросхем, с напряжения +9 В от стандартного блока питания.

ВЫВОД

Конструкция клапана предусматривает его безотказную работу в зоне высоких температур и обеспечивает получение такого объема пробы газа для достоверной количественной оценки содержания токсических веществ в отработавших газах.

Электронный блок управления электромагнитным газоотборным клапаном позволяет установить начало открытия и конец закрытия клапана с точностью до 1⁰ поворота коленчатого вала. При этом длительность открытого состояния клапана составляет не более 5 мс.

Газоотборный комплекс дает возможность исследовать рабочий процесс в бензиновых, дизельных, включая роторно-поршневые ДВС, которые оснащены современными электронными системами управления.

В момент отбора проб газа комплекс позволяет проводить регистрацию 24-х параметров работы ДВС с дальнейшей ее обработкой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Vibe I.I. 1962: Novoye o rabochem tsikle dvigateley. / I.I. Vibe – М.: Mashgiz. – 271.
2. Voinov A.N. 1977: Sgoraniye v bystrokhodnykh porshnevykh dvigatelyakh. / A.N.Voinov – М.: Mashinostroyeniye. – 174-175.
3. Gorbunov V.V. 2006: Toksichnost dvigateley vnutrennego sgoraniya / V.V.Gorbunov, N.N. Patrakhaltsev – М.: FGUP «NAMI». – 123.
4. Gordon A.V. 1960: Elektromagnity postoyannogo toka / A.V.Gordon, A.G.Slivinskaya – Moskva -Leningrad: Gosudarstvennoye energeticheskoye izdatelstvo. – 140.
5. Gutarevich Yu.F. 1989: Okhrana okruzhayushchey sredy ot zagryazneniya vybrosami dvigateley [Tekst] / Yu. F. Gutarevich. - К.: Urozhay. - 224.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ПО ПАРАМЕТРАМ ТОКСИЧНОСТИ

6. Dyakov A.K. 1989: Ekologicheskaya bezopasnost transportnykh potokov / Dyakov A.K., Ignatyev Yu.V., Koshkin Ye.P. – M.: Transport – 128.
7. Ekologiya 2002: Yekologiya avtomobilnogo transportu: [Navch. posibnik] / [Gutarevich Yu.F., Zerkalov D.V., Govorun A.G., Korpach A.O., Merzhievskaya L.P.]; Za red. Yu.F. Gutarevich, D.V. Zerkalov ta in. – K.: Osnova. – 311.
8. Zvonov V.A. 1981: Toksichnost dvigateley vnutrennego sgoraniya / V.A. Zvonov– [2-e izd., pererab.] – M.: Mashinostroyeniye. - 160.
9. Kovbasenko S.V. 1999: Pokrashchennaya yekologichnikh ta yekonomichnikh pokaznikov avtomobiliv / S.V. Kovbasenko //Visn. Skhidnoukr. derzh. un-tu. – №1. – 85-88.
10. Kolotilo D.M. 1999: Yekologiya i yekonomika: [Navchalnyy posibnik] / D.M.Kolotilo. – K.: KNEU. – 368.
11. Krutov V.I. 1978: Dvigatel vnutrennego sgoraniya kak reguliruyemyy obyekt / V.I.Krutov. – M.: Mashinostroyeniye. – 472.
12. Kulchitskiy A.R. 2000: Toksichnost avtomobilnykh i traktornykh dvigateley. / A.R. Kulchitskiy - Vladimir: Vladim. gos. un-t. – 256.
13. Lukanin V.M. 1993: Postanovka optimizatsionnykh zadach v sisteme «Avtotransportnyy kompleks – okruzhayushchaya sreda» / V.M.Lukanin, Yu.V.Trofimenko, A.V.Efremov // Transport, nauka i tekhnika, upravleniye. – № 5 – 5-12.
14. Lukanin V.N. 1993: Ekologicheskoye vozdeystviye avtomobilnykh dvigateley na okruzhayushchuyu sredu / V.N.Lukanin, Yu.V.Trofimenko // Itogi nauki i tekhniki. – Tom 17. – 128-136.
15. Malakhov V.N. 1974: Issledovaniye obrazovaniya okislov azota v tsilindre karbyuratornogo dvigatelya: dis. kand. tekhn. nauk: 05.04.02 / V.N.Malakhov. – K. – 122.
16. Pavlova Ye.I. 1998: Ekologiya transporta [Tekst] / Ye. I. Pavlova, Yu. V. Buralev. – M.: Transport. –232.
17. Patent 2004: Patent 51494 Ukraina, MKI4 F 02 V 71/00. Sistema avtomatichnogo vidboru prob gazu z tsilindra dviguna vnutrishnogo zgoryannya / A.Z. Filippov, M.C. Atamanenko, Yu.A. Gerasimchuk – №2002042949; Zayav. 12.04.2002; Opubl. 15.09.2004, Byul. № 9.
18. Patent 2005: Patent 72969 Ukraina, MKI4 F 02 V 71/00. Gazovidbirniy kompleks dlya viznachennya osnovnykh parametriv i toksichnosti dviguniv vnutrishnogo zgoryannya / A.Z. Filippov, M.C. Atamanenko, Yu.A. Gerasimchuk, V.V. Derev'yanko – №2002118985; Zayav. 12.11.2002; Opubl. 16.05.2005, Byul. № 5.
19. Filippov, A. Z. 1995: Promislova yekologiya (transport) [Tekst]: [navch. posib.] / A. Z.Filippov. - K.: Vishcha shkola. - 82 s.
20. Filippov A.Z. 1998: Toksichnist teplovikh dviguniv. Suchasniy stan ta shlyakhi zmenshennya / A.Z.Filippov, S.D.Voytyuk, Yu.A.Gerasimchuk // Mekhanizatsiya silskogospodarskogo virobnitstva: Zb. nauk. prats Natsionalnogo agrarnogo un-tu.–T. IV. – K.: Vidavnitstvo NAU. – 177-184.
21. Filippov A., Beshun O., Krasowski E. 2001: Pro mozhlivist reguluvannya potuzhnosti bagatotsilindrovikh dizelnikh dviguniv metodom vidklyuchennya okremikh robochikh tsikliv // Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa, Natsionalniy agrarniy universitet, Kiiv, Polska Akademia Nauk Oddzial w Lublinie. – Lublin. – 2001, T. 1. – 33-37.
22. Anatoliy Filippov.2005: Dinamika dizelnogo DRTs (dvigatelya s regulirovaniyem moshchnosti otklyucheniyem otdelnykh rabochikh tsiklov) / Anatoliy Filippov, Aleksey Beshun, Yuriy Gerasimchuk, Olga Gluhovska, Ludmila Evchenko // Lublin: MOTROL [Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa]. – T. 7. – 83-91.

INVESTIGATION OF WORKING PROCESS OF INTERNAL COMBUSTION ENGINES ON TOXICITY PARAMETERS

Summary. The subject of this research is improvement of economic and ecological characteristics of internal combustion engines (ICE) by control of every cycle of engine operation. Our work focuses on more accurate measurement of burnt gases directly in combustion chamber, providing information for deeper understanding of chemical processes going on during burning of fuel in combustion chamber. It will help to devise better algorithms for controlling ICE electronically.

Key words: internal combustion engine, exhaust gas, electromagnetic gas sampling valve, parts per million (ppm), ecological indexes.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НОВОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ДЛЯ УБОРКИ БОТВЫ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Владимир Булгаков¹, Андрей Борис²

*¹Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15*

²Национальный научный центр “Институт механизации и электрификации сельского хозяйства” НААН Украины

Украина, Киевская обл., пгт. Глеваха, ул. Вокзальная, 11,

Yuriy Gerasimchuk

*¹National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine*

*² National Scientific Center “Institute of Mechanization and Electrification of Agricultural”
NAAS of Ukraine*

Vokzalna Str., 11, Glevaha, Kiev Region, Ukraine

Аннотация. На основании проведенных ранее исследований вращательного движения очистительного элемента нового отделителя ботвы и кинематического взаимодействия рабочих элементов между собой построена математическая модель динамического взаимодействия системы рабочих элементов отделителя с головкой корнеплода сахарной свеклы. Получены зависимости усилий в точке контакта системы рабочих элементов с головкой корнеплода в зависимости от количества элементов в системе и режимов работы нового отделителя ботвы. Построены графические зависимости изменения суммарной нормальной реакции системы от количества ее элементов. Значения составляющих нормальной реакции были использованы в дальнейшем для силового анализа указанного взаимодействия.

Ключевые слова: математическая модель, ботва, корнеплод, головка корнеплода, рабочий элемент, система рабочих элементов, точка контакта, силовое взаимодействие.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Высококачественная уборка ботвы сахарной свеклы является актуальной задачей отрасли свекловодства. Очистка головок корнеплодов от остатков ботвы на корню является важной операцией технологического процесса уборки сахарной свеклы. Незначительное количество остатков ботвы на головках корнеплодов перед их уборкой значительно ухудшает качественные показатели,

что в целом может снизить качество продукции на 10-15%. Поэтому, отделение ботвы от головок корнеплодов является актуальным научно-техническим заданием.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Вопросам теоретических и экспериментальных исследований среза ботвы с головок корнеплодов сахарной свеклы посвящены многие труды П. М. Василенка, В. М. Булгакова, Л. В. Погорелого, П. В. Савича, М. В. Татьяна и др. [1-4, 9, 10, 13-21]. При этом ставится задача исследовать и спроектировать свеклоуборочные машины, которые бы отвечали современным требованиям и нормам качества и сертификации [2]. Нами разработан новый рабочий орган для уборки ботвы – копирно-роторный отделитель ботвы, который удовлетворяет указанным требованиям [3].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Аналитическое определение нормальных усилий, которые возникают в точке контакта рабочего элемента отделителя ботвы с головкой корнеплода сахарной свеклы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для определения усилий, которые возникают при взаимодействии системы рабочих элементов с головкой корнеплода сахарной

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НОВОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА ДЛЯ УБОРКИ БОТВЫ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

свеклы, нами в первую очередь, построена эквивалентная схема (рис. 1), на которой система рабочих элементов при вращательном движении, а также поступательном перемещении контактирует с головкой корнеплода сахарной свеклы.

Для определения влияния системы рабочих элементов отделителя на устойчивость корнеплода в почве рассматривался случай, когда с вершиной головки корнеплода взаимодействует система, которая состоит из двух рабочих элементов [7].

Для определения влияния свободных элементов системы на предыдущий элемент, который взаимодействует с головкой корнеплода, необходимо было вначале определить нормальные реакции от взаимодействия поверхностей упоров смежных элементов. Для этого использовался принцип освобождения от связей, и действие предыдущего элемента было заменено соответствующей реакцией.

После этого для всех элементов системы составлялись дифференциальные уравнения их вращательного движения. Далее были определены нормальные реакции от взаимодействия рабочих элементов в каждой из точек контакта между ними. Выражение для определения нормальной реакции взаимодействия смежных элементов имеет следующий вид [5, 6, 11, 12]:

$$N_{li} = \frac{J\ddot{\varphi}_i + M_{ri}}{\sqrt{x_{ki}^2 + y_{ki}^2}}, \quad (1)$$

где: $\ddot{\varphi}_i$ – угловая скорость вращательного движения соответствующего i -того элемента; M_{ri} – момент центробежных сил инерции, который определяется вращательным движением ротора; x_{ki} и y_{ki} – координаты точек взаимодействия рабочих элементов между собой.

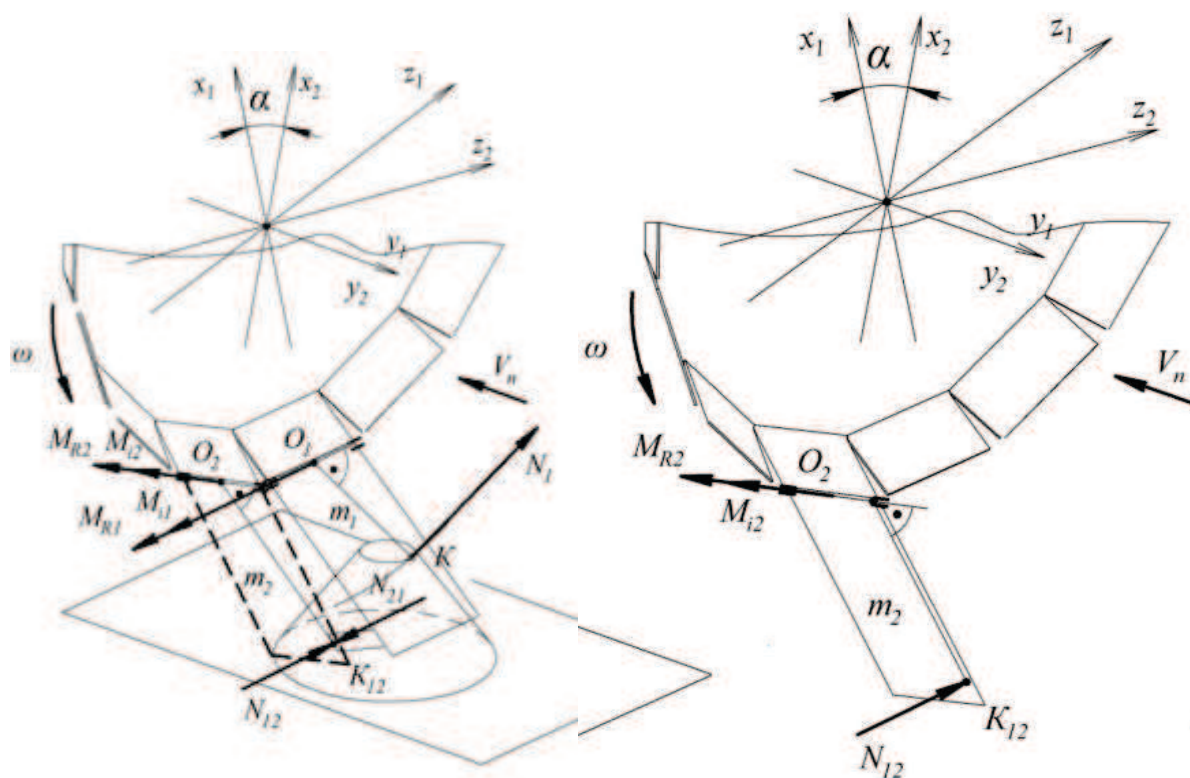


Рис. 1. Эквивалентная схема взаимодействия системы рабочих элементов нового отделителя ботвы с головкой корнеплода сахарной свеклы

Fig. 1. Equivalent chart of co-operation of the system of working elements new separator of tops with the head of root crop of sugar beet

Поскольку, полученное значение нормальной реакции, согласно выражению (1), справедливо только для относительных систем координат, соответствующих им рабочих элементов, то для использования их в системе координат предыдущего рабочего элемента применялись формулы преобразования координат [5]. В результате применения формул преобразования координат значение нормальной реакции от действия следующего рабочего элемента на предыдущей будет иметь следующий вид [8]:

$$N_{21}^{x_1y_1} = N_{21} \sqrt{\sin^2 \varphi_2 \cos^2 \alpha + \cos^2 \varphi_2}, \quad (2)$$

где: N_{21} – нормальная реакция от действия следующего рабочего элемента на предыдущий, который движется по головке корнеплода, в системе координат предыдущего элемента; α – конструктивный угол между смежными рабочими элементами системы, которые размещены на периферии ступицы ротора.

Тогда в системе координат первого рабочего элемента эти проекции определим из следующих зависимостей:

$$N_{21}^{y_1} = N_{21}^{y_2}, \quad N_{21}^{x_1} = N_{21}^{x_2} \cos \alpha, \quad (3)$$

или

$$N_{21}^{y_1} = N_{21} \cos \varphi_2, \quad N_{21}^{x_1} = N_{21} \sin \varphi_2 \cos \alpha. \quad (4)$$

Отсюда модуль проекции $N_{21}^{x_1y_1}$ в системе координат первого элемента:

$$N_{21}^{x_1y_1} = \sqrt{(N_{21}^{x_1})^2 + (N_{21}^{y_1})^2}, \quad (5)$$

или с учетом зависимостей (3)-(5) получим:

$$N_{21}^{x_1y_1} = N_{21} \sqrt{\sin^2 \varphi_2 \cos^2 \alpha + \cos^2 \varphi_2}. \quad (6)$$

Для нахождения нормальной реакции контактирующего рабочего элемента с головкой корнеплода от действия системы k рабочих элементов необходимо сложить k –

уравнений динамического равновесия рабочих элементов, которые контактируют между собой. Например, зависимость суммарной нормальной реакции корнеплода на систему, которая состоит из двух элементов, имеет вид (7): где δ – отклонение оси ротора от условной осевой линии рядка; b – конструктивная ширина рабочего элемента; M_R и M_{R2} – моменты центробежных сил инерции первого и второго рабочих элементов относительно их осей подвеса; m_{21} – плечо нормальной реакции действия второго рабочего элемента на предыдущей, относительно его оси подвеса; α_z – угол поворота вала ротора; φ_2 – угол отклонения следующего рабочего элемента от плоскости вращения; ρ – расстояние от оси ротора к вершине головки корнеплода; d – расстояние от оси ротора до уровня поверхности почвы; r_0 – радиус оси подвеса рабочего элемента; $l_{\text{пп}}$ – длина копирующей части рабочего элемента.

Очевидно, что при увеличении числа рабочих элементов в системе аналитическое выражение для определения нормальной реакции N значительно усложнится, потому нами была составлена и запрограммирована расчетная схема на ПЭВМ, с помощью которой было проведено исследование динамического взаимодействия отделителя ботвы с головкой корнеплода.

После окончания фазы взаимодействия первого рабочего элемента с головкой корнеплода происходит его выход из контакта и свободное движение под действием центробежных сил инерции, которые предопределены вращательным движением ротора. В то же время все следующие за ним элементы также начинают свободное движение под действием центробежных сил инерции.

$$N = \frac{J\ddot{\varphi} + M_R - \frac{J\ddot{\varphi}_2 + M_{R_2} \sqrt{\sin^2 \varphi_2 \cos^2 \alpha + \cos^2 \varphi_2} m_{21}}{\sqrt{\left[(r_0 + l_{\text{пп}} \cos \varphi_2) \cos \alpha - \frac{b}{2} \sin \alpha \right]^2 + \left[(r_0 + l_{\text{пп}} \cos \varphi_2) \sin \alpha - \frac{b}{2} \cos \alpha \right]^2}}}{\sqrt{\left[\rho \sin(\alpha_0 + \omega t) \right]^2 + \left(-\text{tg} \varphi_0 \left(\sqrt{\delta^2 + (d-h)^2} - \left(\frac{b}{2} \right)^2 - r_0 \right) - Vt \right)^2}}, \quad (7)$$

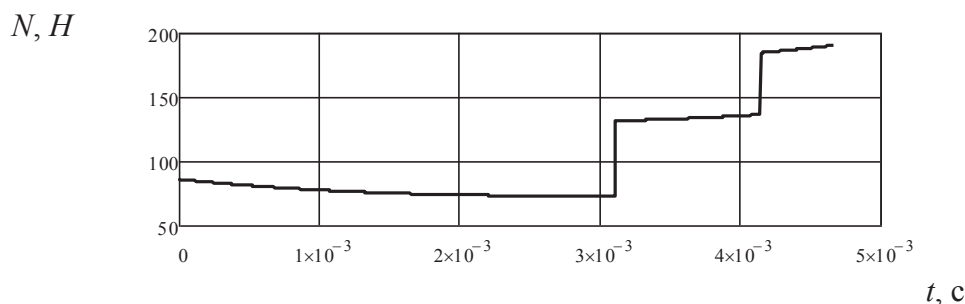


Рис. 2. Зависимость нормальной реакции N системы элементов на головку корнеплода сахарной свеклы от времени t

Fig. 2. Dependence of normal reaction of N of the system of elements on the head of root crop of sugar beet from time of t

Из анализа графика (рис. 2), на котором представлена зависимость нормальной реакции N системы элементов на головку корнеплода от времени, сделан вывод о том, что с увеличением количества элементов в системе, которая взаимодействует с головкой корнеплода, ступенчато возрастают контактные усилия.

Так, для трех элементов в системе (рис. 2) максимальные значения нормальной реакции достигают 200 Н. Также установлено, что для максимального количества элементов в системе (при копировании максимально высокой головки корнеплода), которое составляет около 10 шт, суммарные значения нормальной реакции при этом достигают 260 Н.

Полученные значения нормальной реакции от действия системы рабочих элементов были в дальнейшем использованы при моделировании силового взаимодействия отделителя ботвы с головкой корнеплода сахарной свеклы.

ВЫВОДЫ

1. В результате исследования контактного взаимодействия системы двух рабочих элементов нового отделителя ботвы с головкой корнеплода получена зависимость (7), которая описывает усилие в точке контакта с головкой корнеплода.

2. Построена и решена на ПЭВМ математическая модель взаимодействия системы элементов произвольного количества рабочих элементов отделителя с головкой корнеплода, в результате исследования которой

установлены максимально возможные значения контактных усилий.

3. На основании математического моделирования установлено, что значения контактных усилий, при взаимодействии нового отделителя ботвы с головкой корнеплода, колеблются в пределах от 200 до 260 Н.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bulgakov V. M. 2005: Teoriya buryakozbiralnikh mashin. Monografiya / V. M. Bulgakov. – Kiiiv: Vidavnichiy tsentr NAU. – 245.
2. Sydorhuk O. 2007: Designing agricultural machinery, its conformity to international requirements of quality, standardization and certification. – MOTROL. Motorization And Power Industry in Agriculture. Volume 9 A. Lublin. Poland, – 207-211.
3. Patent 2012: Patent na vinakhid 98916, Ukraina, MPK A 01D 23/02. Ochisnik golovok koreneplodiv vid zalishkiv gichki / V. M. Bulgakov, A. M. Boris. – № u201113784; Zayavl. 23.11.2013; Opubl. 25.06.2012, Byul. №12.
4. Vasilenko P. M. 1984: Osnovy nauchnykh issledovaniy (Mekhanizatsiya selskokhozyaystvennogo proizvodstva) / P. M. Vasilenko, L. V Pogorelyy. – K.: Vishcha shkola. – 266.
5. Kompleksnaya 1962: Kompleksnaya mekhanizatsiya proizvodstva sakharnoy svekly / [A. A. Vasilenko, P. T. Babiy, P. V. Savich i dr.]. – K. – 243.
6. Pogorelyy L. V. Sveklouborochnyye mashiny: istoriya, konstruktsiya, teoriya, prognoz / L. V. Pogorelyy, N. V. Tatyanko – K.: Feniks, 2004. – 232.
7. Filchakov P. F. Spravochnik po vysshey

- matematike / P. F. Filchakov. – K.: Nauchnaya mysl, 1974. – 743.
8. Targ S. M. 1986: Kratkiy kurs teoreticheskoy mekhaniki: uchebn. [dlya vyssh. tekhnich. zavedenny] / S. M. Targ. – M.: Vyssh. shk. – 416.
9. Pisarenko G. S. 1975: Spravochnik po soprotivleniyu materialov / Pisarenko G. S., Yakovlev A. P., Matveyev V. V. – Kiyev: Naukova dumka. – 704.
10. Osnovnyye 1988: Osnovnyye matematicheskiye formuly / [Vodnev V.T., Naumovich A.F., Naumovich N.F.]; pod red. Yu. S. Bogdnova. – Minsk.: Vysheyshaya shkola. – 255.
11. Khelemendik N. M. 1996: Povysheniye mekhaniko-tekhnologicheskoy effektivnosti trudoyemkikh protsessov v sveklovodstve: avtoref. dis. na soiskaniye nauch. stepeni dokt. tekhn. nauk.: spets. 05.20.01 “Mekhanizatsiya selskokhozyaystvennogo proizvodstva” / N. M. Khelemendik. – Ternopol.: TPI. – 48.
12. Khelemendik N. M. 1968: Issledovaniye tekhnologicheskogo protsessa i rabochikh organov dlya uborki sakharnoy svekly v usloviyakh Zapadnoy Stepi USSR: Diss. kand. tekhn. nauk.: 05.410 / Khelemendik Nikolay Mikhaylovich. – Voronezh. – 31.
13. Bat M. I. 1973: Teoreticheskaya mekhanika v primerakh i zadachakh: uch. posobiye / Bat M. I., Dzhanilidze G. Yu., Kelzon A. S. – M.: Nauka. – 488.
14. Butenin N. V. 1985: Kurs teoreticheskoy mekhaniki / Butenin N. V., Lunts Ya. L., Merkin D. R. T.2. – M.: Nauka. – 496.
15. VISKhOM. 1970: Fiziko-mekhanicheskiye svoystva rasteniy, pochv i udobreniy: metody issledovaniya, pribory, kharakteristiki. – M.: Kolos. – 417.
16. Vovk P. F. 1936: Agrofizicheskiye svoystva korney sakharnoy svekly v svyazi s mekhanizatsiyey uborki / P. F. Vovk. // V sb.: Teoriya, konstruktsiya i proizvodstvo selskokhozyaystvennykh mashin. T. 2. – L.: Selkhozgiz. – 269-284.
17. Mekhaniko-tekhnologicheskkiye 2000: Mekhaniko-tekhnologicheskkiye svoystva selskokhozyaystvennykh materialov: praktikum / [Voytyuk D. G., Tsarenko O. M., Yatsun S. S. i dr.]; za red. S. S. Yatsuna. – K.: Agrarnoye obrazovaniye. – 93.
18. Bulgakov V.M. 2011: Teoriya robochogo protsesu vidalennya gichki z koreneplodiv tsukrovikh buryakiv / V. M. Bulgakov, A. M. Boris // Naukoviy visnik natsionalnogo universitetu bioresursiv i prirodokoristuvannya Ukraini. – K. – Vip. 166, ch.1. – 350.
19. Gulyayev V. I. 1989: Kolebaniya sistem tverdykh i deformiruyemykh tel pri slozhnom dvizhenii / V. I. Gulyayev, P. P. Lizunov // – K.: Vishcha shkola. – 197.
20. Holovach I., Berezovyy M., Eremenko O. 2006: Working out and research of the new car for cleaning of a tops of vegetable. – MOTROL. Motorization and power industry in agriculture. Volume 8A. Lublin. Poland. – 80-97.
21. Golowacz I. A. 2004: theory of plane interaction of a purifying blade with the head of root-crops. – Polish academy of sciences branch in Lublin. Teka commission of motorization and energetics in agriculture. Volume IV. Lublin. Poland. – 15-31.

STUDY OF INTERACTION SEMICONTACT ELEMENTS OF WORK- ING SINKING ROTARY SEPARATOR TOPPER

Summary. From the mathematical models of rotational motion of cleaning element of new separator tops on head and root of kinematic interaction between the working elements of a mathematical model of the dynamic interaction between the system elements working with the head of root crop. The obtained dependences of effort at the contact point of the work items to the head of root crops, depending on the number of elements in system and modes of operation of the new trap tops. The constructed image changes depending on the total normal reaction of number of its elements. The values of the components of the normal reaction were used for further analysis of power of this interaction.

Key words: mathematical model, tops, root, root head, working element, system of working element, a point of contact, interaction strength.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ МЕТАНОВОГО СБРАЖИВАНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА

Виктор Полищук, Николай Лободко, Ольга Дубровина

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15

Victor Polyschuk, Nikolay Lobodko, Olga Dubrovina

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Проведен анализ условий, влияющих на интенсификацию процесса метанового сбраживания. Определена степень влияния на эффективность производства биогаза и его тепловую ценность температурного режима метантенка, сырьевой базы, перемешивания, наличия коферментаторов

Ключевые слова: биогаз, субстрат, навозная жижа, биошлам, метантенк, газгольдер, температурный режим, влажность субстрата, коферментатор

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

С момента возникновения цивилизованного общества перед ним все время стояла проблема охраны окружающей среды. Через промышленную, сельскохозяйственную и бытовую деятельность человека постоянно происходили изменения физических, химических и биологических свойств окружающей среды, причем многие из них были очень неблагоприятны. Продукты жизнедеятельности животных и человека, как правило, всегда использовались для повышения плодородия почвы. Это не составляет проблему, если их образуется немного. В случае создания крупных животноводческих комплексов площадь окрестных земель может оказаться недостаточной для утилизации продуктов жизнедеятельности животных. В результате могут быть загрязнены подземные воды, окружающие водоемы и колодцы. Продукты жизнедеятельности некоторых животных не всегда можно вносить в почву непосредственно, ведь они часто являются переносчиками возбудителей болезней и паразитов, которыми может болеть также и человек. К таким животным относятся, в первую очередь, свиньи. В последнее время появилась информация о случаях заражения

птичьим гриппом. Поэтому отходы свиней и птицы надо предварительно обеззараживать. Это же касается и сточных вод больших городов, которые включают продукты жизнедеятельности человека, жиры и сахара, попадающие туда с предприятий общественного питания и домашних кухонь. Сточные воды промышленных предприятий также необходимо очищать перед их вторичным использованием или спуском в реки и водоемы.

Органические отходы, состоящие преимущественно из воды, белков, жиров и углеводов, способны разлагаться на первичные составляющие под действием микроорганизмов. Причем процесс их разложения может проходить как в присутствии кислорода, так и в бескислородной атмосфере. Если в среде, которая подвергается разложению, присутствует кислород, то органика разлагается под действием аэробных микроорганизмов (бактерий и микромицетов). В этом случае процесс будет называться компостированием. В случае, если процесс разложения биомассы проходит без доступа воздуха, он называется анаэробным. В этом процессе принимают участие анаэробные бактерии, а в результате их действия на органические вещества образуется высококачественное органическое удобрение и смесь газов (главным образом, метана и углекислого газа, а также незначительного количества сероводорода, аммиака, оксидов азота и др.), называемая биогазом. Именно таким образом в течение очень долгого времени образовывался природный газ, который отличается от биогаза большим содержанием метана (90-95%).

Следует отметить, что энергия, которая освобождается в результате анаэробного процесса, не теряется, как тепло при компостировании. Вследствие жизнедеятель-

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ МЕТАНОВОГО СБРАЖИВАНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА

ности метанообразующих бактерий она превращается в молекулы метана, энергетическая ценность которого составляет 50 МДж/кг [1].

Биогаз после очистки можно использовать для производства электроэнергии, в бытовых целях (для приготовления пищи), для обогрева жилых и производственных зданий [2], в том числе и самих животноводческих помещений [3], сжатый метан в баллонах пригоден как топливо для автомобилей и тракторов [4].

Вместе с тем, биогазовые технологии в данное время, в основном, дотационные. Сроки окупаемости инвестиций достаточно большие (8 лет и более) [5] и зависят от стоимости биогазовой установки, количества и качества произведенного биошлама, который можно использовать как органическое удобрение, количества произведенного биогаза и его тепловой ценности, затрат на поддержание температурного режима метантенка. На три последних фактора существенно влияют сырьевая база производства биогаза, температурный режим, эффективность перемешивания субстрата и т.д.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для интенсификации процесса метанового сбраживания необходима оптимизация условий, при которых скорость ферментных реакций была бы максимальной.

На создание этих условий влияют следующие факторы: свойства субстрата, температура ферментации, рН среды, экспозиция (время) сбраживания, наличие анаэробных условий, а также тип сообщества анаэробных организмов, что используется в метантенке.

Состав навозной биомассы и ее свойства в значительной степени влияют на процесс метанового сбраживания. В современных биогазовых установках могут перерабатываться субстраты с содержанием сухого вещества (до 12% и максимальной длине волокнистых или стеблевидных частиц, которая не превышает 30 мм [6]. После загрузки субстрата в метантенк выход биогаза в единицу времени сначала резко

увеличивается, а затем по достижении максимума постепенно уменьшается. Следует также отметить, что трава, содержащая много белковых веществ, обладает высокой скоростью реакции и дает большой выход газа, в то время как солома и экскременты КРС из-за значительной доли лигнина сбраживаются гораздо медленнее и выделяют меньше биогаза [7].

Подготовка сырья требует выполнения определенных требований. Условием применения органического материала в процессе ферментации является отсутствие в нем токсичных соединений, а также соответствующее измельчение материала, что может позволить увеличить производство биогаза до 20%. Использование гомогенного биоматериала существенно способствует эффективному протеканию процесса ферментации. Нежелательными компонентами процесса являются ингибиторы, которые трудно распадаются биологическим путем, такие как: дезинфицирующие средства, детергенты, антибиотики и пестициды, используемые в сельском хозяйстве [8]. Не способствуют жизнедеятельности метанообразующих бактерий и некоторые неорганические вещества, поэтому нельзя использовать, например, для разбавления навоза воду, оставшуюся после стирки белья синтетическими моющими средствами [9]. Куриный помет часто ингибирует метановое сбраживание избытком NH_3 [10].

Стабильность процесса в значительной степени зависит от стабильности рН. Процесс анаэробной ферментации возможен при изменении рН в диапазоне 6,0-8,5, но обычно стараются поддерживать рН 7,0-8,0, потому что при снижении рН ниже 6,5 снижается выход биогаза на 30-40%, а при рН 6,0 почти полностью затормаживается развитие метановой микрофлоры [6].

Бактерии для образования своих клеток требуют питательных веществ, витаминов, растворимых соединений азота, минеральных веществ и микроэлементов. Активность размножения метанообразующих бактерий в значительной мере определяется соотношением углерода и азота в сырье. Критерием оптимальности соотношения С:N служит выход биогаза. Если соотношение С:N в навозе чрезмерно велико, то недостаток азота огра-

ничивает процесс метанового брожения, если же указанное соотношение очень мало, то в метантенке образуется большое количество аммиака и он становится токсичным для бактерий [11]. Благоприятным для размножения метанообразующих бактерий признано соотношение C/N, равное от 10:1 до 30:1 [6].

Кроме мероприятий по подготовке субстрата к способам интенсификации процесса метанового сбраживания относится и оптимизация параметров самого процесса. Вопросу оптимизации процесса метанового сбраживания бесподстилочного навоза посвящено значительное количество исследований. Обнаружены температурные оптимумы для мезофильного процесса 33°C и для термофильного – 54°C. Несмотря на то, что процесс разложения целлюлозы в термофильных условиях проходит в 14 раз интенсивнее, чем в мезофильных, а количество получаемого биогаза на 25-30% выше в термофильных условиях, термофильные процессы имеют меньшую стабильность, чем мезофильные, а допустимые колебания температуры значительно снижаются [1].

Время процесса ферментации биомассы (экспозиция сбраживания) также является одним из важных параметров процесса метанового сбраживания. В большинстве случаев при переработке навозной биомассы процесс метаногенеза происходит на протяжении 24-28 суток и более. На практике экспозицию метанового сбраживания с целью получения биогаза устанавливают в зависимости от температуры, степени разложения и содержания органических веществ в следующих интервалах: при 10-25° С до 30 суток, при 25-40° С – от 10 до 20 суток, при 45-55°C – от 4 до 8 суток [6].

Степень разложения органического вещества (биоконверсия) бесподстилочного навоза зависит от экспозиции. Максимальная степень биоконверсии органического вещества 53% (техническое сбраживание) достигается лишь при долгосрочной экспозиции и на практике не используется. Лучшие органические удобрения при метановом сбраживании в мезофильном режиме получают при степени биоконверсии органического вещества 30-33%, при этом отмечается максимальный выход биогаза. Для достижения такого уровня биоконверсии органической массы в проточных реакторах полного сме-

шения необходима экспозиция 20-22 суток. Экспозиция метанового сбраживания, наряду с суточным выходом бесподстилочного навоза, определяет рабочий объем микробиологического реактора [6]. Средняя продолжительность брожения сырья при психрофильном температурном режиме составляет от 30-40 и более суток, при мезофильном режиме – в пределах 10-20 суток, при термофильном – в пределах 5-10 суток [12].

Очень важным фактором эффективного протекания процесса ферментации является температура массы, что сбраживается. Метановая ферментация начинается при температуре 6°C. При более низкой температуре выделение метана прекращается. Одновременно с ростом температуры быстро увеличивается выделение газа. Так, при температуре 30°C выделение биогаза происходит в 12 раз быстрее, чем при температуре 10°C [13]. Вместе с тем, при возрастании температуры снижается содержание метана в биогазе. Это связано с тем, что при высоких температурах растворенная в субстрате двуокись углерода интенсивнее переходит в газообразную фазу (в биогаз), таким образом снижая относительное содержание метана [14].

Если наблюдается большой выход биогаза, но он недостаточно горючий, это часто означает, что на поверхности сырья в реакторе образовалась пена или корка. Если давление газа совсем низкое, это тоже может означать, что образовалась корка, которая блокирует газовую трубу. Поэтому необходимо удалять корку с поверхности сырья в реакторе.

Особенностью корки является то, что она не ломкая, но тягучая и может стать очень твердой в течение короткого периода времени. Для разрушения корки нужно поддерживать ее в увлажненном состоянии. То есть корку можно полить сверху водой или опустить в сырье [9]. Вместе с тем, наличие небольшой плавающей корки на поверхности субстрата полезно для колонизации серных бактерий, принимающих участие в очистке биогаза от сероводорода [15].

Стабильную работу биогазовой установки поддерживают путем перемешивания субстрата. Целью перемешивания является высвобождение образованного биогаза, перемешивание свежего субстрата и бактерий (при-

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ МЕТАНОВОГО СБРАЖИВАНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА

вивки), предупреждение образования корки и осадка, предотвращения возникновения участков с различной температурой внутри метантенка, обеспечение равномерного распределения популяций бактерий, невозможность формирования полостей и скоплений, которые уменьшают эффективную площадь реактора. При выборе метода перемешивания нужно учитывать, что процесс брожения представляет собой процесс жизнедеятельности симбиоза различных штаммов бактерий и при разрушении этого сообщества процесс ферментации будет непродуктивным вплоть до образования нового симбиоза бактерий. Поэтому слишком частое или длительное перемешивания вредно. Рекомендуется медленное перемешивания сбраживаемой в метантенке массы через каждые 4-6 ч [16].

Необходимым условием эффективной работы биогазовой установки является наличие теплоизоляции [16]. В психрофильном режиме при термическом сопротивлении $1 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ и отрицательных температурах окружающей среды теплотраты в ограждающих конструкциях биогазовых установок составляют 25-30 Вт, в мезофильном режиме – 45-65 Вт, в термофильном режиме при температуре -20°C доходят до 75 Вт. Наименьшие теплотраты достигаются при термическом сопротивлении более $1 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$ [17]. Поэтому для снижения потерь тепла метантенки должны быть обеспечены теплоизоляцией, иметь минимальную площадь поверхности или подземное или полуподземное расположение [16].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью наших исследований является определение степени влияния технологических факторов на эффективность производства биогаза, пригодного для использования в энергетических целях.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Эффективность производства биогаза определялась в зависимости от типа сырья, наличия коферментаторов, температурного режима биогазовой установки, наличия или отсутствия перемешивания субстрата. Экспериментальные исследования проводились

параллельно на двух биогазовых установках в учебно-научной лаборатории биоконверсий в АПК Национального университета биоресурсов и природопользования Украины.

Описание экспериментальной установки

В состав биогазовой установки входят метантенк I и газгольдер II (рис. 1).

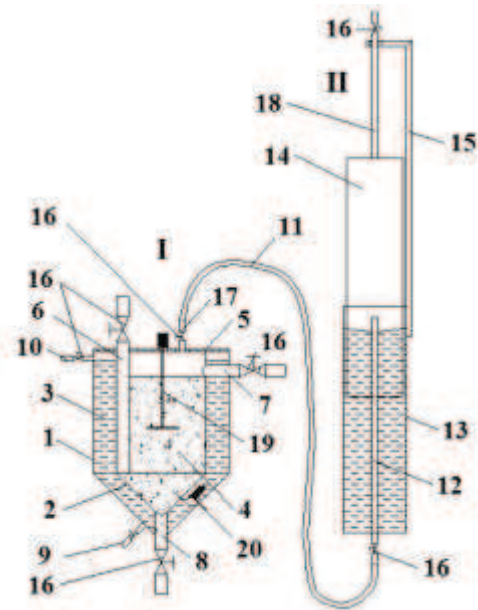


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной биогазовой установки [18; 19]:

Fig. 1. Fundamental chart of the experimental biogas setting [18; 19]:

I – метантенк; II – газгольдер; 1 – внешний корпус метантенка; 2 – внутренний корпус метантенка; 3 – водяная рубашка; 4 – активная зона метантенка; 5 – крышка; 6 – труба для подачи биомассы; 7 – труба для слива биошлама; 8 – труба для удаления биошлама; 9 – труба для подачи воды; 10 – труба для установления уровня воды в водяной рубашке; 11 – газопровод; 12 – труба для подачи биогаза; 13 – корпус газгольдера; 14 – цилиндрический уровень; 15 – направляющая; 16 – кран; 17 – труба для отвода биогаза из активной зоны метантенка; 18 – труба для отбора биогаза из газгольдера; 19 – мешалка; 20 – нагреватель

Метантенк I состоит из внешнего 1 и внутреннего 2 (объемом 30 л) корпусов, между которыми помещается водяная рубашка 3, которая наполняется водой через трубу 9 и служит для передачи тепла от

нагревателя 20 к субстрату, что содержится в активной зоне 4 метантенка, и выступает в качестве теплоизолятора активной зоны метантенка от внешней среды. Температура воды поддерживается при помощи электронагревателя 20 и системы управления температурным процессом. Вода в водяную рубашку заливается через трубку 10 и вентиль 16. Для создания герметичности активной зоны метантенка 4, сверху его накрывают крышкой 5 с уплотнителем.

Через трубу 6 в активную зону биореактора 4 заливается субстрат в полужидком виде. Труба 6 доходит почти до дна активной зоны метантенка 4, поэтому свежий субстрат подается в нижнюю часть активной зоны реактора, тем самым вытесняя перебродивший субстрат (биошлам) через трубу 7. Для неизменности микрофлоры комплекса метанообразующих бактерий при заправке метантенка необходимо оставить в нем не менее 1/3 биошлама, что даст возможность быстрого размножения микроорганизмов. Для слива всего биошлама при техническом обслуживании метантенка служит труба 8. Герметичность биореактора обеспечивают вентили 16.

В метантенке при создании оптимальных кислотности и температуры и при условиях отсутствия кислорода происходит метановое брожение, во время которого образуется биошлам, который является ценным органическим удобрением, и выделяется биогаз. Для предотвращения образования корки и обеспечения однородности биомассы, применяется мешалка 19, которая периодически перемешивает биомассу в активной зоне реактора.

Биогаз из метантенка через трубу 17 по газопроводу 11 и далее по трубе 12 поступает в газгольдер II, где и сохраняется. В данной установке используется "мокрый" газгольдер, который состоит из двух цилиндрических емкостей: корпуса 13 и цилиндра-уровнемера 14, а также направляющей 15. Корпус газгольдера 13 наполнен водой, в которой как поплавок плавает полой цилиндр-уровнемер 14. Биогаз через трубку 12 поступает во внутреннюю полость цилиндра-уровнемера 14, который по мере наполнения биогазом по направляющей 15 поднимается над корпусом газгольдера, что дает возможность определять наличие и объем газа в газгольдере II. Из газгольдера биогаз

отводится по трубке 18 через кран 16 путем выдавливания массой цилиндра-уровнемера 14.

Общий вид экспериментальных биогазовых установок представлен на рис. 2.



Рис. 2. Экспериментальные биогазовые установки во время определения элементного состава биогаза

Fig. 2. Experimental biogas options during determination of element composition of biogas

Описание процесса периодического метанового сбраживания навозной жижи

Процессы, что происходят при периодическом метановом сбраживании навозной жижи в метантенке, полностью согласовываются с процессами, возникающими при культивировании микроорганизмов в биореакторах. Рассмотрим процесс метанового сбраживания сырья в метантенке на примере переработки навозной жижи КРС при температуре 55°C (рис. 3).

На начальном этапе, после добавления нового субстрата, наблюдается лаг-фаза, или фаза привыкания микроорганизмов к новым условиям. В метантенк добавляется около 1/3 его объема навозной жижи, и столько же биошлама сливается. Метановые бактерии, которые осталась в "затравочной"

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ МЕТАНОВОГО СБРАЖИВАНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА

порции субстрата в метантенке, определенное время привыкают к новому субстрату. На рис. 3 процесс привыкания длится первые четыре дня. В данном случае, такой долгий период лаг-фазы обусловлен тем, что до новой заправки в качестве субстрата в метантенке был куриный помет, разбавленный водой, а температура сбраживания соответствовала 40°C. В случае добавления в метантенк однотипного субстрата при условии неизменности температурного режима время лаг-фазы существенно сокращается.

После привыкания бактерий к новым условиям они начинают активно расти и размножаться, выделяя при этом большое количество биогаза. Процесс переходит в экспоненциальную (логарифмическую) фазу (на рис. 3 соответствует период с 4 по 8 день сбраживания).

По мере истощения питательных свойств субстрата и накопления в нем продуктов обмена, скорость роста снижается и процесс переходит в фазу замедления роста (период с 8 по 15 день на рис. 3) и далее в стационарную фазу, в которой процессы деления и от-

мирания бактерий в популяции находятся в динамическом равновесии (период с 15 по 20 день на рис. 3).

Когда истощение питательных веществ в субстрате и накопление продуктов метаболизма преодолевают пороговые концентрации, начинается фаза отмирания и число бактерий в популяции постепенно снижается. Соответственно снижается и объем произведенного биогаза. Период фазы отмирания соответствует времени в 20 по 35 день на рис. 3.

Влияние температурного режима

Степень влияния температурного режима метантенка на эффективность производства биогаза исследовалась на примере метанового сбраживания навозной жижи КРС влажностью 93,4% при температурах 55, 50, 45 и 40°C. Результаты исследования представлены на рис. 4, из которого видно, что при увеличении температуры метантенка выход биогаза увеличивается.

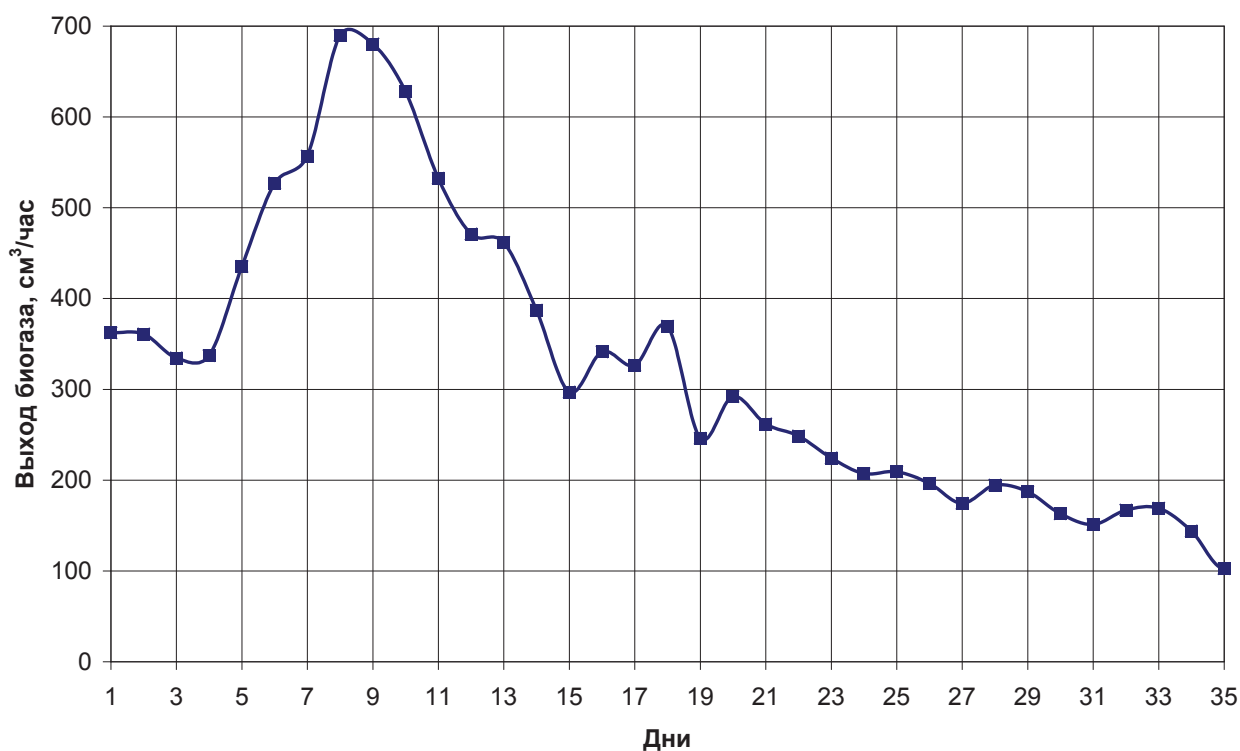


Рис. 3. Процесс метанового сбраживания навозной жижи КРС влажностью 93% при 55°C
Fig. 3. Process of methane сбраживания of the dung slush of KPC by humidity of 93% at 55°C

Так, средний выход биогаза при температуре 55°C составляет 7103 см³/сутки, при 50°C – 5226 см³/сутки, при 45°C – 4893 см³/сутки, при 40°C – 2041 см³/сутки.

В опытах длительность лаг-фазы была минимальна и составляла менее суток (кроме брожения при температуре 55°C, когда из-за смены температурного режима и субстрата длительность лаг-фазы составляла 4 суток). Для всех температурных режимов сумма времени экспоненциальной фазы и фазы замедления роста была в пределах 14-15 суток. За это время выход биогаза составляет: при температуре 55°C – 11254 см³/сутки, 50°C – 8980 см³/сутки, 45°C – 8059 см³/сутки, 40°C – 3611 см³/сутки. В то же время, за время стационарной фазы и фазы отмирания, длительность которых за время опытов составляла 20-25 суток, выход биогаза был: при температуре 55°C – 4797 см³/сутки, 50°C – 4179 см³/сутки, 45°C – 2632 см³/сутки, 40°C – 1108 см³/сутки. То есть, соотношение выхода биогаза в первые 14-15 суток и после-

дующее время работы реактора составляет 2,1-3,3, из чего следует, что если главной целью сбраживания отходов является получение биогаза, рациональное время процесса составляет 14-15 суток.

Влияние перемешивания субстрата

При исследовании влияния перемешивания субстрата на выход биогаза в качестве субстрата использовался навоз КРС. На одном реакторе перемешивание не производилось, на другом мешалка делала 10 оборотов один раз в сутки. Результаты исследований представлены на рис 5, из чего видно, что при отсутствии перемешивания выход биогаза уменьшается. Так, за время экспоненциальной фазы и фазы замедления роста (11 суток) при перемешивании субстрата выход биогаза составляет 7179 см³/сутки, без перемешивания – 5652 см³/сутки, то есть почти в 1,3 раза меньше.

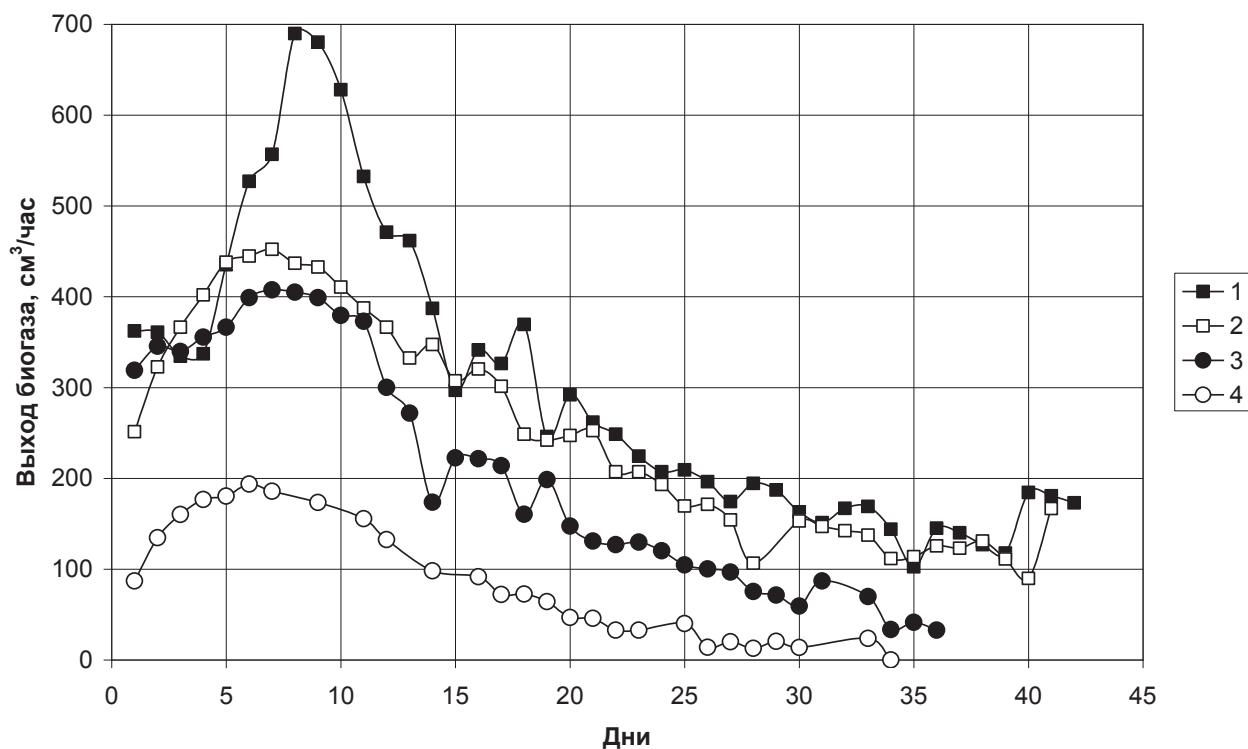


Рис. 4. Выход биогаза при метановом сбраживании навозной жижи КРС влажностью 93% при разных температурных режимах: 1 – $t=55^{\circ}\text{C}$; 2 – $t=50^{\circ}\text{C}$; 3 – $t=45^{\circ}\text{C}$; 4 – $t=40^{\circ}\text{C}$

Fig. 4. Output of biogas at methane fermentation of the dung slush of KPC by humidity of 93% at different temperature conditions: 1 – $t=55^{\circ}\text{C}$; 2 – $t=50^{\circ}\text{C}$; 3 – $t=45^{\circ}\text{C}$; 4 – $t=40^{\circ}\text{C}$

**ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ МЕТАНОВОГО СБРАЖИВАНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ
ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА**

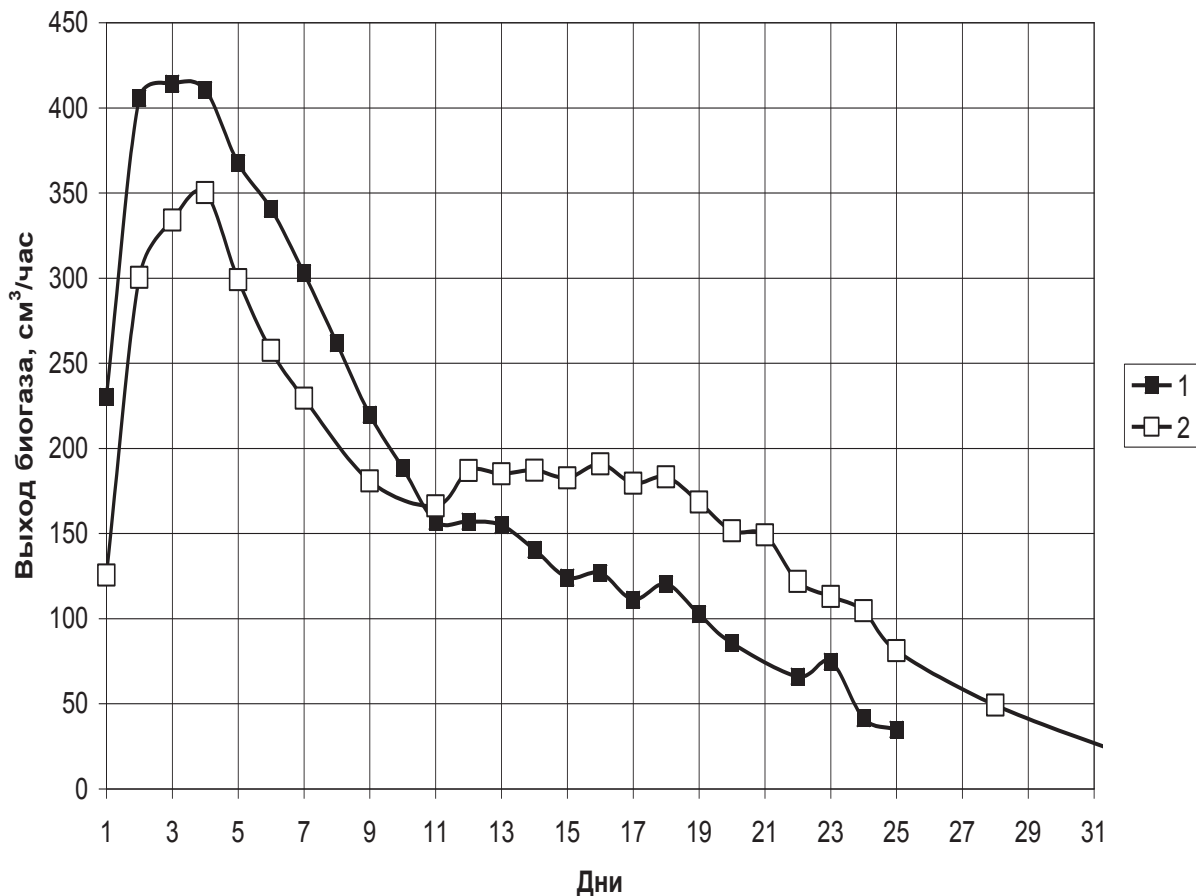


Рис. 5. Выход биогаза при метановом сбраживании навозной жижи КРС влажностью 93% при температуре 40°C: 1 – при перемешивании; 2 – без перемешивания
Fig. 5. Output of biogas at methane сбраживании of the dung slush of KPC by humidity of 93% at a temperature 40°C: 1 – at interdiffusion; 2 – without interdiffusion

Влияние вида субстрата

Исследование влияния вида субстрата на выход и тепловую ценность биогаза проводилось на разных субстратах (жижа навоза КРС, куриного помета и их смеси), на навозе КРС, полученном при потреблении коровами разного корма, основу которого в одном случае составляли концентраты и сено, в другом случае – солома.

Исследование влияния кормления КРС на выход биогаза представлено на рис. 6. Исследование проводилось при температуре брожения 40°C с перемешиванием субстрата. Выход биогаза за время экспоненциальной фазы и фазы замедления роста (11 суток) при кормлении концентратами и сеном был 7179 см³/сутки. В случае, когда основу корма составляла солома выход биогаза составлял

4125 см³/сутки. Из вышеизложенного следует, что при наличии в навозе большого количества непереваренной целлюлозы и гемицеллюлозы выход биогаза уменьшается в 1,7 раза.

При использовании в качестве субстрата куриного помета, в сравнении с навозной жижей КРС, выход биогаза резко возрастает (рис. 7). Так, выход биогаза из куриного помета за 13 дней сбраживания составляет 91845 см³, или 3827 см³/сутки, в то время, как за 32 дней сбраживания навозной жижи 117112 см³, или 3660 см³/сутки. Период двух самых продуктивных фаз – экспоненциальной и фазы замедления роста, составляет 9 дней, за время которых выход биогаза из куриного помета составляет 8356 см³/сутки, из навозной жижи – 4881 см³/сутки.

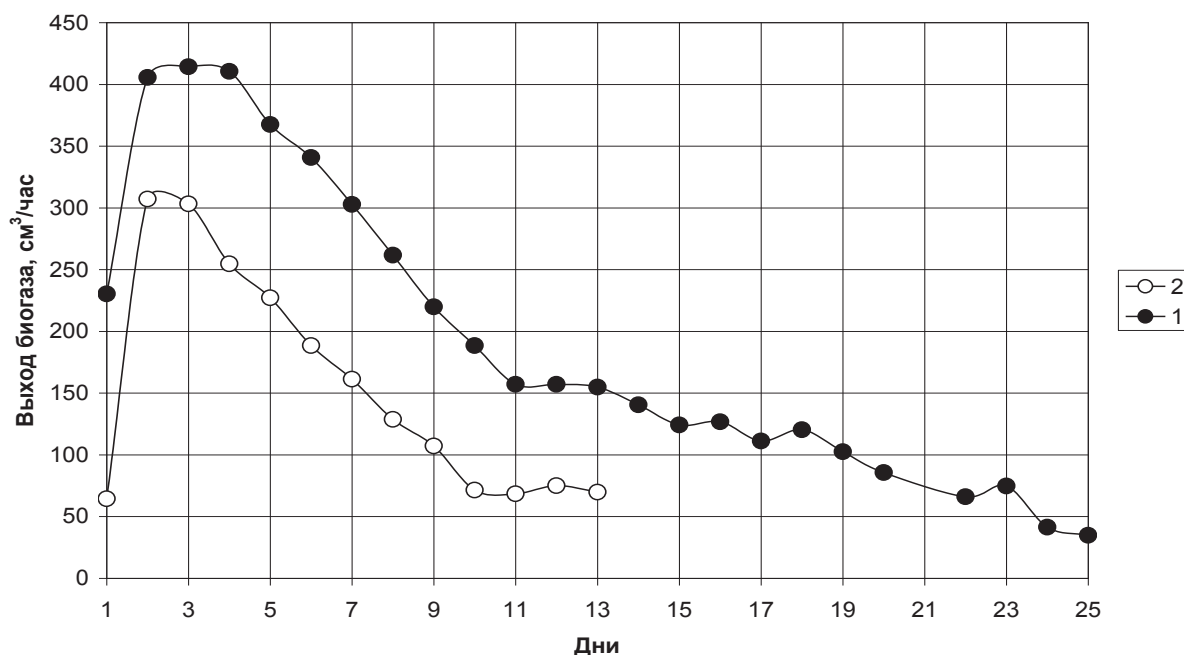


Рис. 6. Выход биогаза при метановом сбраживании навозной жижи КРС влажностью 93% при температуре 40°C: 1 – после кормления КРС сеном и концентратами; 2 – после кормления КРС грубыми кормами (соломой)

Fig. 6. Output of biogas at methane сбраживании of the dung slush of KPC by humidity of 93% at a temperature 40°C: 1 – after feeding of KPC by a hay and concentrates; 2 – after feeding of KPC by rough stems (by a straw)

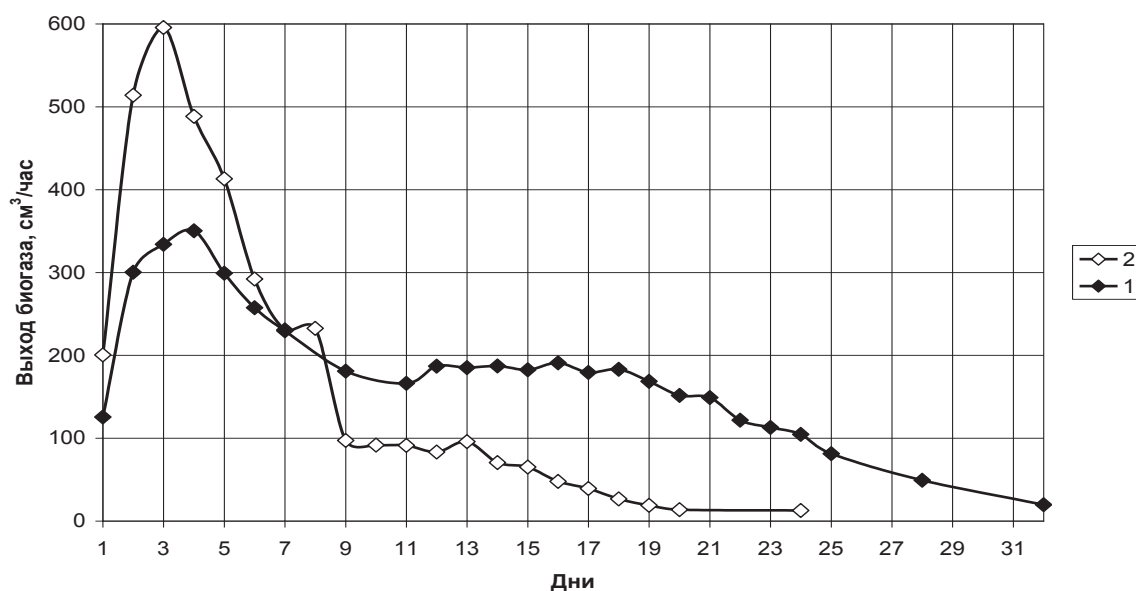


Рис. 7. Выход биогаза при метановом сбраживании разных субстратов без перемешивания: 1 – навозной жижи КРС влажностью 93% при температуре 40°C; 2 – куриного помета влажностью 73% при температуре 40°C

Fig. 7. Output of biogas at methane сбраживании of different субстратов without interfusion: 1 – the dung slush of KPC by humidity of 93% at a temperature 40°C; 2 – chicken dung by humidity of 73% at a temperature 40°C

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ МЕТАНОВОГО СБРАЖИВАНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА

Вместе с тем, при сбраживании куриного помета, в отличие от навозной жижи, наблюдается повышенный выход сероводорода, о чем свидетельствует характерный запах, а выход метана заметно меньше. Так, первые 10 дней биогаз вообще не горит, последующие несколько дней горение наблюдается, но очень плохое, с перерывами, часто горение прерывается.

При использовании в качестве субстрата смеси навозной жижи и куриного помета выход биогаза в сравнении со сбраживанием чистой навозной жижи увеличивается, однако содержание метана в таком биогазе низкое. Так, при температуре брожения 55°C и 50°C полноценное горение биогаза наблюдается лишь на 7 день работы метантенка, при 45°C и 35°C – на 4 день.

Горение биогаза, образованного при сбраживании навозной жижи, в большинстве

опытов наблюдалось с первого для сбраживания, лишь в некоторых случаях фиксировалось отсутствие его горения в первые 1-2 дня

Влияние коферментаторов

В качестве коферментаторов при исследовании применялись крахмал и глицерол.

Результаты исследований показали, что использование коферментаторов ведет к резкому увеличению интенсивности метанового сбраживания (рис. 8).

При добавке к навозной жиже крахмала при температуре сбраживания 40°C общее время логарифмической фазы и фазы замедления роста составляет примерно 7 суток (с 4 по 11 сутки, кривая 2, рис. 8), за время которых выделяется 65469 см³ биогаза (или в среднем 9353 см³/сутки).

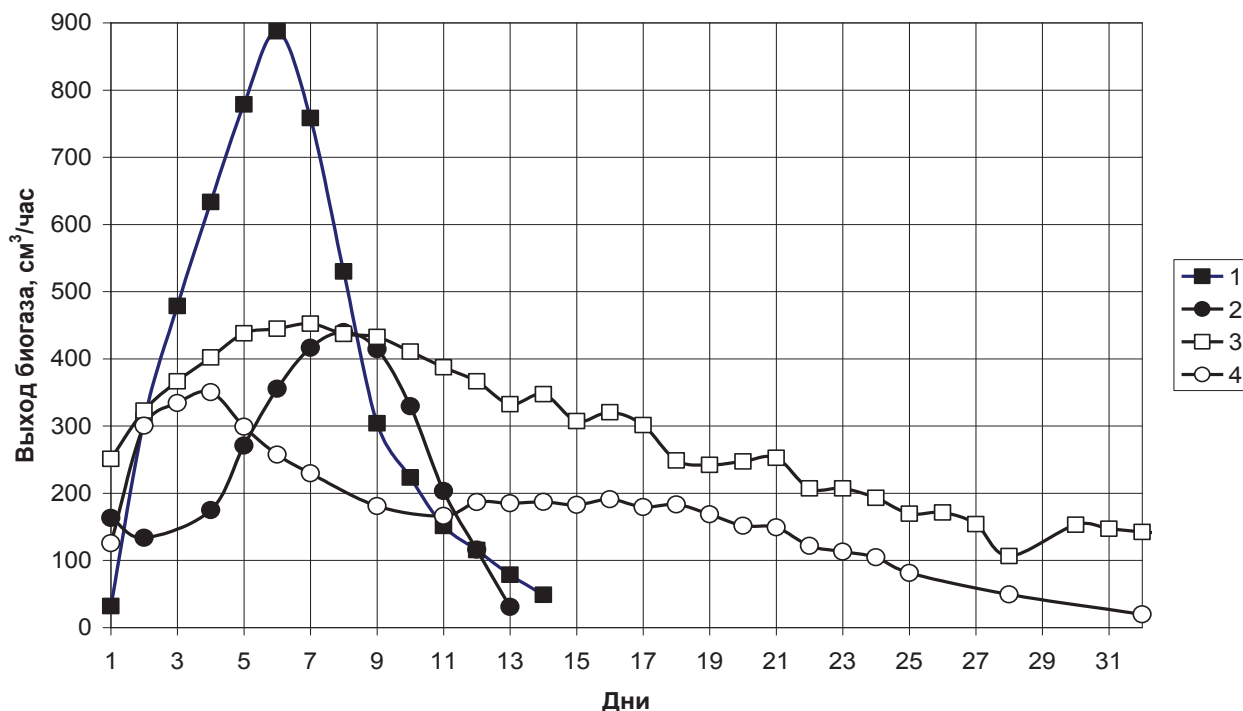


Рис. 8. Выход биогаза при метановом сбраживании навозной жижи при использовании коферментаторов и без них: 1 – с добавлением глицерола при температуре 50°C; 2 – с добавлением крахмала при температуре 40°C; 3 – без коферментаторов при температуре 50°C; 4 – без коферментаторов при температуре 40°C

Fig. 8. Output of biogas at methane fermentations of the dung slush at the use of cofermentatorov and without them: 1 – with addition of glycerin at a temperature 50°C; 2 – with addition of starch at a temperature 40°C; 3 – without cofermentatorov at a temperature 50°C; 4 – without cofermentatorov at a temperature 40°C

Стационарная фаза и фаза отмирания очень короткие, составляют всего несколько дней, брожение быстро прекращается. При сбраживании навозной жижи при температуре 40°C без добавления крахмала общее время логарифмической фазы и фазы замедления роста составляет примерно 9 суток (с 1 по 9 сутки, кривая 9, рис. 8), за время которых выделяется 35168 см³ биогаза (или в среднем 2512 см³/сутки). Непродуктивные фазы стационарная и отмирания очень длинные и составляют 23 суток и более.

Использование в качестве коферментатора неочищенного глицерола, который является отходом производства биодизеля и вызывает большие проблемы с его утилизацией, еще в большей степени интенсифицирует метановое сбраживание навозной жижи. При температуре сбраживания 50°C общее время логарифмической фазы и фазы замедления роста составляет около 9-11 суток (кривая 1, рис. 8), за время которых выделяется 114453-123560 см³ биогаза (или в среднем 11266-12717 см³/сутки). Фазы стационарная и отмирания также очень короткие, составляют несколько дней, а брожение быстро прекращается.

При сбраживании навозной жижи при температуре 50°C без добавления глицерола общее время логарифмической фазы и фазы замедления роста составляет около 15 суток (кривая 3, рис. 8), за время которых выделяется 142556 см³ биогаза (или в среднем 8910 см³/сутки). Непродуктивная фаза отмирания, которая очень быстро переходит из стационарной фазы, также очень длинная.

Теплота сгорания

Теплота сгорания полученного биогаза рассчитывалась по формуле Менделеева [20] после измерения его элементного состава газоанализатором GEM-500 (заводской номер E1328/04), рис. 9, и за методом, описанным в [21].

При измерении элементного состава биогаза газоанализатором выход метана при сбраживании навозной жижи с температурой брожения 50°C составляет 50,4%, навозной жижи с добавлением глицерола – 56% (после предварительного сбраживания газовой шапки сероводорода). При этом низшая теп-

лота сгорания биогаза, полученного при сбраживании навозной жижи, составляет 17,1 МДж/кг, навозной жижи с добавлением глицерола – 19 МДж/кг.



Рис. 9. Измерение элементного состава биогаза газоанализатором GEM-500

Fig. 9. Measuring of element composition of biogas by the gas analyzer of GEM - 500

При сбраживании куриного помета и смеси куриного помета с навозной жижей в первые 5-10 дней сбраживания наблюдается повышенный выход углекислого газа и сероводорода и низкий выход метана, вследствие чего биогаз не горит. В последующие 3-4 дня доля углекислого газа постепенно уменьшается, а метана – увеличивается. Горение биогаза становится более стабильным, хотя наличие сероводорода еще достаточно высокое. При этом низшая теплота сгорания, определенная по методу [21], постепенно повышается до 17-20 МДж/кг.

ВЫВОДЫ

1. Наиболее продуктивными по генерации биогаза являются логарифмическая фаза метанового сбраживания (3-5 суток) и часть фазы замедления роста. Общий период этих фаз составляет от 7 до 15 суток. Общее время стационарной фазы, которая плавно переходит в фазу отмирания, может составлять 25-20 суток, но в это время выработка биогаза сильно уменьшается. Поэтому в конце фазы замедления роста рекомендуется замена субстрата и начало нового цикла сбраживания.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ МЕТАНОВОГО СБРАЖИВАНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА БИОГАЗА

При сбраживании навозной жижи с увеличением температурного режима этот период сокращается с 14-15 суток при 40°C до 11 суток при 55°C. Использование кофериентаторов уменьшает этот период до 9 суток.

2. Увеличение температуры метанового сбраживания ведет к более высокому выходу биогаза, однако при этом также и увеличиваются затраты на подогрев субстрата.

3. При использовании перемешивания субстрата во время метанового сбраживания выход биогаза увеличивается не менее чем в 1,3 раза.

4. При кормлении КРС кормами, содержащими большое количество целлюлозы и гемицеллюлозы, выход биогаза уменьшается в 1,7 раза.

5. Использование в качестве субстрата или добавки к субстрату куриного помета вызывает существенное увеличение выхода биогаза, который, однако же, плохо горит вследствие низкого содержания метана и высокого содержания углекислого газа и сероводорода.

6. Использование кофериентаторов увеличивает выход биогаза. Одним из наилучших кофериентаторов является глицерол, получаемый как побочный продукт производства биодизеля.

7. Содержание метана в биогазе, произведенном из навозной жижи, составляет 50%, с добавлением глицерола – 56%. Теплота сгорания такого биогаза составляет 17 и 19 МДж/кг соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Alternativna 2012: Alternativna yenergetika: [navch. posibnik dlya stud. vishch. navch. zakl.] / M.D. Melnichuk, V.O. Dubrovin, V.G. Mironenko, I.P. Grigoryuk, V.M. Polishchuk, G.A. Golub, V.S. Targonya, S.V. Dragnev, I.V. Svistunova, S.M. Kukharets. – K.: «Agrar Media Grup». – 244.
2. Geletukha G.G. 2002: Sovremennyye tekhnologii anaerobnogo sbrzhivaniya biomassy (Obzor) / G.G. Geletukha, S.G. Kobzar // Ekotekhnologii i resursos-berezhniye. – № 4. – 3-8.
3. Boltyanskaya Natalya. 2012: Puti razvitiya otrasli svinovodstva i povysheniye konkurentosposobnosti yeye produktsii / Natalya

Boltyanskaya // MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin. – Tom. 14, No 3. – 164-176.

4. Tekhnologi 2010: Tekhnologii Tekhnologii virobnitstva biogazu: [kurs lektsiy dlya stud. silskogosp. vuziv zi spets. 8.092900 – "Ekobiotekhnologiya"] / V.G. Mironenko, V.O. Dubrovin, V.M. Polishchuk, S.V. Dragnev, I.V. Svistunova. – K.: Kholtekh. – 84.

5. Havrysh Valery. 2011: Perspektivi zabezpechennya agrarnogo sektora yekonomiki Ukraini ponovlyuvanimi yenergetichnimi resursami / Valery Havrysh // MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin. – Tom. 13 A. – 107-117.

6. Viktoristannya 2008: Viktoristannya bi-omasi na yenergetichni potrebi v silskomu gospodarstvi. Biogazovi tekhnologii. – Doslid-nitske: UkrNDIPVT im. L. Pogorilogo. – 72.

7. Baader V. 1982: Biogaz: teoriya i praktika / V. Baader, Ye. Done, M. Brennderfer. – M.: Kolos. – 148.

8. Bioyenergiya 2009: Bioyenergiya v Ukraini – rozvitok silskikh teritoriy ta mozhlivosti dlya okremikh gromad: Naukovo-metodichni rekomendatsii shchodo vprovadzhennya peredovogo dosvidu agrarnikh pidpriemstv Polshchi, Lit-vi ta Ukraini zi stvorennya novitnikh ob'ektiv bioyenergetiki, yefektivnogo virobnitstva i vikoristannya biopaliv: [Nauk.-metod. rekomend.] / [V.O. Dubrovin, M.D. Melnichuk, Yu.F. Melnik, V.G. Mironenko ta in.]. K.: Natsionalniy universitet bioresursiv i pri-rodokoristuvannya Ukraini; Institut budiv-nitstva, mekhanizatsii ta yelektrifikatsii sils-kogo gospodarstva, Polshcha, Institut agrar-noi inzhenerii, Litva. – 122.

9. Vedeneyev A.G. 2006: Biogazovye tekhnologii v Kyrgyzskoy respublikе: spravochnoye rukovodstvo / A.G. Vedeneyev, T.A. Vedeneyeva. – Bishkek: Yevro. – 90.

10. Malofeyev V.M. 1998: Biotekhnologiya i okhrana okruzhayushchey sredy: Uchebnoye posobiye. – M.: Izdatelstvo Arktos. – 188.

11. Tekhnologii 2010: Tekhnologii ta obladnannya dlya vikoristannya ponovlyuvanikh dzherel yenerгии v silskogospodarskomu virobnitstvi / Za red. V.I. Kravchuka, V.O. Dubrovina – Doslidnitske.: UkrNDIPVT im. L. Pogorilogo. – 184.

12. Vedeneyev A.G. 2006: Stroitelstvo biogazovykh ustanovok: kratkoye rukovodstvo /

- A.G. Vedeneyev, A.N. Maslov. – Bishkek: Yevro. – 28.
13. Biologichni 2010: Biologichni resursi i tekhnologii virobnitstva biopaliva: Monog-rafiya / Ya.B. Blyum, G.G. Geletukha, I.P. Grigoryuk,, K.V. Dmitruk, V.O. Dubrovin, A.I. Ćmets, G.M. Zabarniy, G.M. Kaletnik, M.D. Melnichuk, V.G. Mironenko, D.B. Rakhmetov, A.A. Sabirniy, S.P. Tsigankov – K: "Agrar Media Grup". – 408.
14. Eder B. 2006: Biogazovyye ustanovki. Prakticheskoye posobiye / Barbara Eder, Khaynts Shults. – M.: Kolos. – 240.
15. Biogaz 2010: Biogaz na osnove vobnovlyayemogo syrya. Sravnitelnyy analiz shestidesyati odnoy ustanovki po proizvodstvu biogaza v Germanii. – Gyultsov. Germaniya: Spetsialnoye agentstvo vobnovlyayemykh resursov (FNR). – 116.
16. GOST 2011: GOST R 53790-2010: Ne-traditsionnyye tekhnologii. Energetika biootkhodov. Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya k biogazovym ustanovkam. – [Deystvitelen ot 2010-05-31]. – M.: Standartinform – 10. – (Natsionalnyy standart Rossiyskoy Federatsii).
17. Ratushnyak G.S. 2008: Teplovtrati v biogazovikh ustanovkakh pri riznikh temperaturnikh rezhimakh anayerobnogo brodinnya / G.S. Rakushnyak, K.V. Anokhina // Visnik Vinnitskogo politekhnichnogo institutu. – № 5. – 20-24.
18. Protsesi 2008: Protsesi ta aparati biotekhnologichnikh virobnitstv. Chastina 2. Metodichni vkazivki do vikonannya laboratornikh robit z distsiplin " Protsesi ta aparati biotekhnologichnikh virobnitstv" ta "Energobiotekhnologiya" dlya studentiv silskogospodarskikh vishchikh navchalnikh zakladiv 3-4 rivniv akreditatsii zi spetsialnosti 6.092900 "Ekobiotekhnologiya" / M.D. Melnichuk, V.G. Mironenko, V.M. Polishchuk ta in. – K.: Vidavnichiy tsentr NAU. – 38.
19. Mashini 2012: Mashini ta ob-ladnannya silskogospodarskogo virobnitstva. Metodichni vkazivki do vi-konannya laboratornikh robit z distsiplin "Mashini ta obladnannya silskogospodarskogo virobnitstva" dlya studentiv silskogospodarskikh vishchikh navchalnikh zakladiv 3-4 rivniv akreditatsii osvithno-kvalifikatsiy-nogo rivnya "Bakalavr" na-pryamku pidgotovki "Mashinobuduvannya" / M.D. Melnichuk, V.O. Dubrovin, V.G. Mironenko, V.M. Polishchuk, G.A. Golub, V.S. Targonya, O.I. Ćremenko, S.V. Dragnev. – K.: Vidavnichiy tsentr NUBiP Ukraini. – 36.
20. Yenergobiotekhnologiya 2010: Yenergobiotekhnologiya. Metodichni vkazivki do vikonannya laboratornikh robit z distsiplini "Energo-biotekhnologiya" dlya studentiv silskogospodarskikh vishchikh navchalnikh zakladiv 3-4 rivniv akreditatsii zi spetsialnosti 6.092900 "Ekobiotekhnologiya" / M.D. Melnichuk, V.G. Mironenko, V.M. Polishchuk ta in. – K.: Vidavnichiy tsentr NAU. – 28.
21. Polishchuk V.M. 2012: Yekspres-metod viznachennya teplotvornoї zdatnosti biogazu / V.M. Polishchuk, V.Ć. Vasilenkov, M.M. Lobodko, V.S. Voloshin // Naukoviy visnik Natsionalnogo universitetu bioresursiv i prirodokoristuvannya: Zb. nauk. prats. – Kiiv. – № 174. Ch. 2 – 258-263.

ALTERNATIVE FUEL-OILS

Summary. The analysis of conditions affecting the intensification of the process of methanoic fermentation. Determined by degree of influence on the efficiency of the production of biogas and its thermal value of the temperature regime of methane tank, raw-material base, mixing, and the availability of co-fermentors.

Key words: biogas, substrate, slurry, methane tank, tank, temperature, humidity of substrate, co-fermentors.

СТРУКТУРИЗАЦИЯ ЛИНИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ МОЛОКА ОТ СОСКОВ ВЫМЕНИ К ЕМКОСТИ СБОРА

Владислав Рублёв, Елена Девятко

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15*

Vladislav Rublyuov, Yelena Devyatko

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Рассмотрены общие основные составляющие при различных вариантах организации доения коров. На их основе разработана математическая модель. Она учитывает основные факторы влияния на процесс производства молока в виде структуризации линии его транспортировки, также указывает на наименее защищенную область, что дает возможность предложить меры защиты

Ключевые слова: молоко, процесс, система.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Технологический процесс производства молока представляет собой сложную систему «оператор-машина-животное-среда». Транспортировка молока зависит от технологии его производства и способа содержания коров. Существует несколько вариантов организации доения коров [1-4]:

- в стойлах переносными или передвижными аппаратами со сбором молока в ведро или бидоны;
- переносными аппаратами в стойлах со сбором молока в молокопроводы;
- в стационарных доильных станках, оборудованных в доильных залах или на доильных площадках;
- в доильных станках передвижных доильных установок на пастбищах и летних лагерях.

Согласно этим технологиям доения целесообразно выполнить структуризацию транспортировки молока в процессе доения по общим основным составляющим в его организации и определения дальнейшего

пути транспортировки молока с соблюдением требований ВТО для владельцев индивидуальных дойных коров чтобы уменьшить механическое и бактериальное загрязнение.

ПРОБЛЕМА

Согласовать составляющие факторы линии транспортировки молока в общем процессе его производства с учетом различных вариантов доения коров, что разрешат обеспечить отсутствие контакта молока от внешней среды и человека, а также сохранить вкусовые качества продукции.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Животноводство, как отрасль сельского хозяйства, наиболее сложная система взаимодействия его частей по производству разнообразной животноводческой продукции. Оно занимает одно из ведущих мест в производстве сельскохозяйственной продукции. Вместе с другими важными являются также совокупные технологические процессы, влияющие на качество при производстве молочной продукции в Украине. Это неоднократно подчеркивается в исследованиях и публикациях [2-9].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Заключается в обосновании требований к линии транспортировки молока с учетом транспортировки молока в емкость потребителя. Выяснить общие составляющие технологического процесса транспортировки

СТРУКТУРИЗАЦИЯ ЛИНИИ ТРАНСПОРТИРОВКИ МОЛОКА ОТ СОСКОВ ВЫМЕНИ К ЕМКОСТИ СБОРА

молока при доении от сосков вымени к емкости сбора и инновационные технические средства на пути к потребителю.

Задачи исследования:

-выполнить анализ процесса доения молока, разработать математическую модель технического обеспечения транспортировки молока и принципы ее реализации;

-разработка технических средств для транспортировки молока в емкость потребителя.

Методика исследований. Исследования выполняются методом фактографических наблюдений, системного и морфологического анализа с построением таблиц-матриц для определения показателей и их параметров. Математические модели для описания технического обеспечения процесса составлены на основе теории множеств [10]. Разработка технических средств с учётом ГОСТ 15.001–88.

Изложение основного материала
Установлено что в общем производство молока можно представить как систему в совокупности составляющих линии транспортировки молока от сосков вымени к емкости сбора. Принципиально линию транспортировки молока можно представить следующим составляющим:

- сосок вымени;
- сосковая резина;;
- молочная трубка;
- коллектор (молочная камера);
- молочный шланг;
- очистка;
- сборная емкость.

Систему перечисленных составляющих можно описать следующей математической моделью:

$$\{\Omega\} = \{Дв\} \cup \{Дг\} \cup \{Мг\} \cup \{Кмк\} \cup \{Мш\} \cup \{О\} \cup \{Зе\}, \quad (1)$$

где: Дв – сосок вымени, Дг – сосковая резина, Мг – молочная трубка, Кмк – коллектор (молочная камера), Мш – молочный шланг, О – очистка, Зе – сборная емкость.

Каждая из подсистем определяется следующими факторами:

1. Сосок вымени {Дв}:

$$\{Дв\} = \{Сп\} \cup \{Рп\} \cup \{Т\} \cup \{Ч\} \cup \{Ф\} \cup \{М\} \cup \{Пш\} \cup \{Н\} \cup \{Фр\} \cup \{Рд\} \quad (2)$$

где: {Сп}- способ воздействия на сосок (рука, теленок, машина);

{Рп} – количество движений (пульсов) на сосок за одну минуту:

Таблица 1. – Количество движений (пульсов) на сосок за одну минуту

Table 1. – The number of movements (pulses) for a teat per one minute

№ п/п	Способ	Показатели	КОЛИЧЕСТВО ДВИЖЕНИЙ (пульсов) в 1 МИН
1	теленок	15-20 дней	88
		1-2 месяца	91
		3-5 месяцев	87
		6-8 месяцев	95
2	рука, среднее	2 доли вымени	78-112
3	машина, режим работы	трехтактный	60
		двухтактный	50-55, 80-90

{Т} – сила давления на сосок при различных способах воздействия:

Таблица 2. – Сила давления на сосок при различных способах воздействия

Table 2. – Force of pressure on teat for different ways of impact

№ п/п	Способ	Показатели	Сила давления на сосок, мм.рт.ст
1	рука (среднее)	указательный	200
		средний	156
		безымянный	102
		мизинец	57
2	теленок		40-80
3	машина	трехтактный	380-400
		двухтактный	360-380

{Ч} – продолжительность доения:

Таблица 3. – Продолжительность доения молока, мин.

Table 3 – The duration of milking, min

№ п/п	Способ	Показатели	Время, мин
1	рука	2 доли вымени	2,7-4,7
2	теля	15-20 дней	10,8
		1-2 месяца	10
		3-5 месяцев	9,1
		6-8 месяцев	6,2
3	машина		2,7 - 4,7

{Ф} – фазы отдачи молока:

Таблица 4. - Фазы отдачи молока соском коровы

Table 4. – The phase of milk delivery by cow teat

№ п/п	Латентный период	Продолжительность
1	С начала раздражения соска к выделению молока в цистерну	1-4 сек
2	Окситоцин действует на миопитальный альвеол, который сокращаясь выжимает из альвеол образованное внутри молоко	35-40 сек
3	Действие окситоцина и начинают доения	3 -4 мин

{М} – материал воздействия на сосок:

- черная резина;
- силикон;
- кожа;
- ротовая полость теленка.

{Пш} – виды повреждения соска:

Таблица 5. - Виды повреждения сосков вымени коровы

Table 5. – Types of cow udder teat damage

Виды повреждения			
1	2	3	4
Механическое:			
- превышение вакуума в подсосковом пространстве	Химическое	Тепловое повреждение - чрезмерное охлаждение или перегревание	Поражение электрическим током
- неправильная комплектация доильного стакана			
- наличие трещин на сосковой резине			
- значительная продолжительность доения без молокоотдачи			

{Н} – надой от коровы:

- малаленький;
- средний;
- высокий.

{Фр} – форма соска (рис.1.):

{Рд} – расположение сосков на вымени

может быть 4 видов (рис.2):



Рис. 1. Форма соска:

Fig. 1. Shape of teat

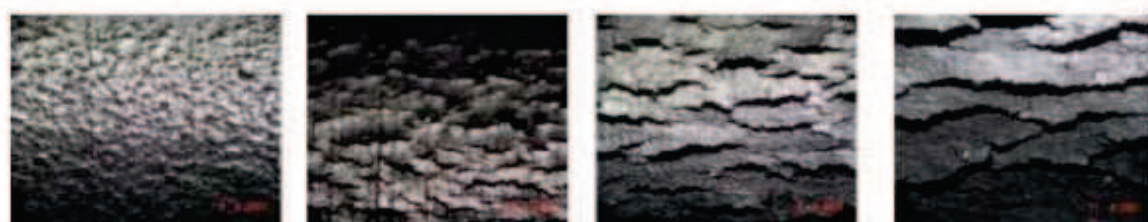
1 - цилиндрическая; 2 - коническая; 3 - бутылкообразная; 4 - грушевидная; 5 - карандашеподобная; 6 - воронкообразная.



Рис. 2. Схема расположения сосков:

Fig. 2. Scheme of teat location

1 - широкое, почти квадратное 2 - широкое передних и сближение задних 3 - сближение боковых при нормальном расстоянии сосков правой и левой стороны, 4 - сближенное расположение всех сосков.



100 рабочих часов 500 рабочих часов 1000 рабочих часов 1500 рабочих часов

Рис. 3. Износ сосковой резины в зависимости от срока службы

Fig. 3. Deterioration of teat rubber depending on the term of service

2. Сосковая резина $\{Дг\}$:

$$\{Дг\} = \{Тд\} \cup \{М\} \cup \{Вм\} \cup \{Фг\} \cup \{Рп\} \cup \{Вл\} \cup \{З\} \cup \{Д\} \cup \{П\} \cup \{Сс\} \cup \{Нп\}, (3)$$

$\{Тд\}$ – тип доения (двухтактный, тритахтный);

$\{М\}$ – материал (резина, силикон);

$\{Вм\}$ – способ вытягивания молока (одновременно, попарное доения);

$\{Фг\}$ – форма резины (цилиндрическая, треугольная);

$\{Рп\}$ – размерные показатели (диаметр верхнего и нижнего отверстия, длина);

$\{Вл\}$ – свойства (шероховатость поверхности, напряжение, эластичность);

$\{З\}$ – изношенность сосковой

резины влияет на: потери надоя до 5% и уменьшение производительности оборудования до 20%;

$\{Д\}$ – воздействие на вымя: вакуума, числа пульсаций, массаж соска;

$\{П\}$ – промывка влияет на качество получаемого молока, химическое повреждение;

$\{Сс\}$ – срок службы резины 900 часов, силикон в три раза дольше резины; (рис.3)

{Нп} - Неверный подбор влияет на:

- попадания воздуха во время надевания подвесной части / во время доения;
- наползания на сосок;
- отсутствие необходимого массажа;
- увеличение времени доения;
- снижение полноты молокоотдачи;
- травмирование соска;
- возникновение отека соска;
- Ухудшение времени здоровья молочной железы.

3. Молочная трубка $\{Mt\}$:

Молочная трубка предназначена для подачи молока, поступающего от сосковой резины к молочной камере коллектора. В настоящее время большинство молочных трубок выпускаются вместе с сосковой резиной. Факторы, влияющие на транспортировку молока и принцип работы:

$$\{Mt\} = \{Вл\} \cup \{Чп\} \cup \{Тд\} \cup \{М\} \cup \{Рп\} \cup \{Пф\}, \quad (4)$$

{Вл} - свойства (шероховатость поверхности, напряжение, эластичность);

{Чп} – число пульсаций;

{Тд} – тип доения (двухтактный, трехтактный);

{М} – материал (резина, силикон);

{Рп} – размерные показатели (диаметр верхнего и нижнего отверстия, длина);

{Пф} – показатели формы:

- в месте надевания на патрубок коллектора имеет утолщение для увеличения прочности и срока службы;
- перед сосковой резиной есть три кольцевые буртики для периодического по мере износа её натяжения.

4. Коллектор (молочная камера) $\{Кмк\}$:

Коллектор - распределяет вакуум между стенкой доильных стаканов и сосковой резины, собирает от них молоко и направляет его в молочный шланг. Кроме того, в случае трехтактного доения обеспечивает периодическую подачу атмосферного воздуха в подсосковые камеры доильных стаканов и тем самым создает такт отдыха.

$$\{Кмк\} = \{П\} \cup \{Су\} \cup \{Ко\} \cup \{М\} \cup \{Тд\} \cup \{О\}, \quad (5)$$

{П} – промывка влияет на гигиену полученного молока и труднодоступность для санитарной обработки;

{Су} – способ удержания:

самостоятельно или подвешивается на специальное приспособление;

{Ко} – конструктивные особенности:

увеличенный объем молочной камеры, малый вес, увеличен диаметр выпускного ниппеля;

{М} – материал (пластмасса, поликарбонат, алюминий пищевой, нержавеющая сталь);

{Тд} – тип доения (двухтактный, трехтактный);

{О} – отверстие для поступления воздуха выполнено в верхней части, а не снизу, что предотвращает:

- вспениванию молока
- уменьшает бактериальное загрязнение;
- насыщенности смеси аммиаком.

5. Молочный шланг $\{Миш\}$:

В молочный шланг молоко попадает из коллектора молочной камеры и его основная задача заключается в транспортировке молока в сборную емкость (доильного ведра) или в молокопровод.

$$\{Миш\} = \{Е\} \cup \{М\} \cup \{Вл\} \cup \{П\}, \quad (6)$$

{Е} – тип эвакуации смеси (верхний, нижний);

{М} – материал (резина, силикон);

{Вл} – свойства (шероховатость поверхности, напряжение, эластичность);

{П} – промывка влияет на качество получаемого молока, химическое повреждение.

6. Очистка $\{О\}$ (фильтр, очиститель):

Известны два способа очистки: фильтрующий и центробежный. При доении коров в условиях небольших фермерских хозяйств фильтрация проводят, как правило, вручную при переливании молока через марлю. В крупных хозяйствах применяют фильтр Ф-01 М с фильтрующими элементами длительного пользования. Фильтрация в них двухступенчатая: через сетку из нержавеющей стали и гранулы кварцевого

песка. Регенерация (восстановление) фильтрующего материала осуществляется обратным протоком промывочной жидкости с использованием стандартных моющих средств. Поэтому факторы определяющие качество очистки являются:

$$\{O\} = \{Pr\} \cup \{Mo\} \cup \{Co\} \cup \{Cob\} \cup \{Tf\} \cup \{Fel\} \cup \{Tsl\}, \quad (7)$$

{Pr} – назначение: удаление механических загрязнений и механических примесей;

{Mo} – место очистки: в молокопроводе, во дворе при переливании;

{Co} – способ очистки:

- центробежный;
- сепарирующего типа;
- пастеризатор;
- стерилизатор.

{Cob} – санитарная обработка: стирка фильтров при температуре 80 ... 85° С;

{Tf} – типы фильтра:

- ватные;
- марлевые;
- вафельные;
- фланелевые;
- лавсановые.

{Fel} – фильтрующие элементы (сетка из нержавеющей стали, гранулы кварцевого песка);

{Tsl} – срок службы: марлевые 10 суток вафельные 45 суток; фланелевые 45 суток; лавсановые 180 суток.

7. Сборная емкость (доильное ведро) **{Ze}**:

Основная ее задача в сборе молока которое отдает животное во время доения. Доильные ведра изготавливаются из нержавеющей стали или пластика. Они легко моются и на долгий срок устойчивы против воздействия агрессивных сред:

$$\{Ze\} = \{Bd\} \cup \{M\} \cup \{A\} \cup \{Ob\}, \quad (8)$$

{Bd} – вид емкости (доильное ведро, промежуточный мерный молокосорбник);

{M} – материал (нержавеющая сталь, прозрачный поликарбонат);

{A} – по антропометрическим характеристикам (тяжелые, нетяжелые);

{Ob} – объем емкости (20, 27, 30, 33 литра).

На основе системы с учётом всех составляющих выполнено моделирование процесса транспортировки молока установлено влияние составляющих показателей на качество получаемого молока. Необходимо отметить что влияние потока молока в линии транспортировки имеет большое значение, на структуру и качество последнего.

Согласно требованиям Всемирной торговой организации (ВТО) качество молока определяется его санитарно-гигиеническими показателями:

- общее допустимое количество бактерий 100 тыс./см³;

- количество соматических клеток в нем до 400 тыс./см³.

Разработанная математическая модель позволяет определиться согласно с требованиями ВТО в инновационном развитии в линии транспортировки молока и указывает на процесс разлива его в мерные емкости для частных хозяйств.

На основе исследований была разработана машина для розлива и укупорки свежесвыдоеного молока [11]. В ее основе сверху имеется разливная и укупоривальная система, что находится в центре и в которой с помощью фиксаторов крепится крышка для закрытия наполненного сосуда. Сбоку от нее находится разливная система, которая имеет кран для регулировки подачи молока, трубу по которой оно идет в резервуар, механизм отвода трубы в сторону для возможности укупорки.

Использование этой машины улучшает производство молока в частном секторе без его контакта последнего с внешней средой и человеком при этом сохраняются вкусовые качества в соответствии требованиям ВТО.

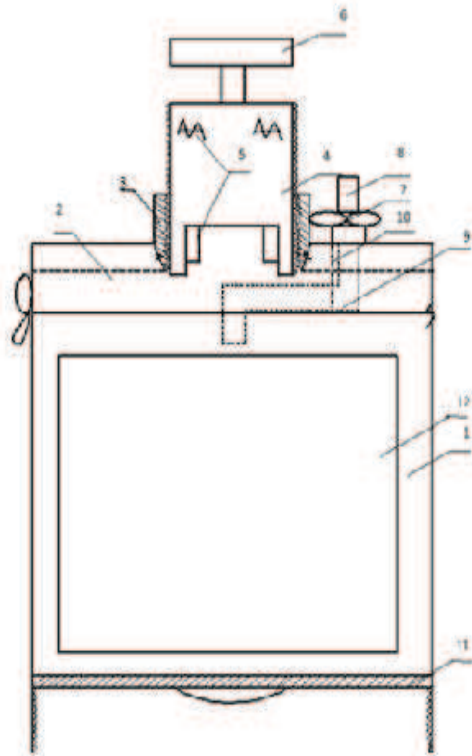


Рис. 4. Принципиальная схема машины для розлива и укупорки свежесвыдоенного молока

Fig. 4. Principal scheme of the machine for fresh milk bottling and capping:

1 - тубус, 2 - крышка 3 - выступающая горловина 4 - цилиндр, 5 - винтовые зажимы, 6 - ручка, 7 - кран для контроля количества залитой жидкости, 8 - труба, 9 - заливная труба, 10 - Г-образный крюк, 11 - днище, 12 - окно для проверки количества налитого молока.

ВЫВОД

Разработанная общая модель структуризации линии транспортировки молока от коровы в сборную емкость. Приведенное описание составляющих модели позволяет рассматривать их как направление технического обеспечения технологии транспортировки молока от сосков коровы к емкостям потребителей молока. Ее внедрение позволит обеспечить выполнение требований ВТО к процессу доения и вообще к производству молока в частных хозяйствах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Melnikov S.V. 1985: Tekhnologicheskoye oborudovaniye zhivotnovodcheskikh ferm i kompleksov. L.: Agropromizdat. - 640.
2. Kartashov L.P. 1987: Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya zhivotnovodstva. M: Agopromizdat. – 480.

3. Gritsaenko V.I. 1987: Dovidnik maystra mashinnogo doinnya. K.: Urozhay,. – 184.
4. Revenko I.I. 1994: Posibnik-praktikum z mekhanizatsii virobnitstva produktsii tvarinnitstva. K.: Urozhay,. -288.
5. Revenko I.I. 1994: Mekhanizatsiya virobnitstva produktsii tvarinnitstva. K.: Urozhay,. -264.
6. Fenenko A.I. 2008: Mekhanizatsiya doinnya koriv. Teoriya i praktika. Monografiya.-K.,-198.
7. Impuls Agro Diykova guma. <http://www.impuls-agro.com/ru/production/pumprubber.html>
8. Divnich V.R. Komplektuyuchi dlya doilnikh aparativ i diykova guma. Yelektronniy resurs <http://dyvnych.com.ua/sponge/2011/06/rezina-soskovaya-chernye/>
9. Boyko I.G 2006: Mashini ta obladnannya dlya tvarinnitstva T.1; T.2, Kharkiv – 502.
10. Rublev V.I., Sudakova T.V., Saklakova Ye.V 2003: Osnovy nauchnykh issledovaniy:

Uchebnoye posobiye. – Stavropol: izdatelstvo SevKavGTU., – 200.

11. Patent na korisnu model №65144 Ukraina 2011: Mashina dlya rozlivu ta zakuporyuvannya svizhovidoenogo moloka / Dev'yatko O.S., Rublov V.I., Ulyanko S.O., Kanivets N.S. (Ukraina)

12. Achkevich V.I. Tendentsii rozvitku virobnitstva doilnogo obladnannya providnikh firm. Yelektronniy resurs http://archive.nbuv.gov.ua/portal/chem_biol/nvnau/2009_132/09avilfw.pdf

13. Kiryatsev L.O. 2009: Udoskonalennya protsesu mashinnogo doinnya // Zbirnik naukovikh prats IMT UAAN «Mekhanizatsiya, yekologizatsiya ta konvertatsiya biosirovini u tvarinnitstvi» Vipusk 1 (3,4) – 199-208.

14. Zabolotko O.O., Lishchinskiy S.P., Kharchenko M.V. Parametri vivedennya moloka doilnimi aparatami riznoi konstruktсии Yelektronniy resurs http://archive.nbuv.gov.ua/portal/chem_biol/nvnau/2010_144_2/10zoo.pdf

15. Medvedskiy O.V., Kukharets S.M. Otsinka yefektivnosti zasobiv mekhanizatsii doinnya koriv v umovakh dribnotovarnogo virobnitstva Yelektronniy resurs http://archive.nbuv.gov.ua/portal/chem_biol/vzhnau/2011_2/203.pdf

16. Kabaladze D.G. 1974: Issledovaniye tekhnicheskikh sredstv dlya transportirovki moloka ot doilnogo apparata do molochnogo otdeleniya. Atoreferat dis. na sois. uchen. step. kand. tekhn. nauk (03.20.01) Tbilisi.

17. Gumenyuk G.D. 2010: Suchasniy stan normativnoi bazi na silskogospodarski mashini i ustatkuvannya ta garmonizatsiya ii z mizhnarodnimi ta evropeyskimi standartami Motrol Motoryzacija I energetyka rolnictwa Tom 12 B Lublin 49-54.

18. Gennadiy Golub, Oleg Marus 2011: Optimizatsiya parametriv mashin ta obladnannya Motrol Motoryzacija i energetyka rolnictwa Tom 13 B Lublin 15-17.

19. Revenko I.I., Braginets M.V., Rebenko V.I. 2012: Mashini ta obladnannya dlya tvarinnitstva: Pidruchnik. – K.: Kondor, – 713.

20. Kartashov L.P, Kolpakov A.V., Vasilevskiy G.P., Ushakov Yu.A., Korolev A.S., Panin A.A. 2010: Inzhenernyye metody obespecheniya kachestva moloka. Mekhanizatsiya ta yelektrifikatsiya silskogo

gospodarstva. Vipusk 84. – Glevakha, 2010. – 168.

STRUCTURIZATION OF MILK TRANSPORTATION LINE FROM UDDER TEATS TO STORAGE TANK

Summary. Main components for different options of milking cow organization are reviewed. The mathematical model is developed on their basis. It considers main factors that influence milk production process in the form of its transportation line structurization and also mentions the least secure part, providing the opportunity to suggest safety measures.

Key words: milk, process, system.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИРОДНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ЗЕМЛИ

Игорь Шевченко, Алексей Ковязин

Национальный научный центр «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства» Национальной академии аграрных наук Украины

Украина, г. Запорожье, ул. Энтузиастов, 14

Igor Shevchenko, Aleksey Kovyazin

*National Scientific Center “Institute of Mechanization and Electrification of Agricultural”
NAAS of Ukraine*

Entuziastov Str., 14, Zaporozhye, Ukraine

Аннотация. Разработан алгоритм, позволяющий моделировать природное температурное поле поверхностных слоев Земли для различных природно-климатических условий и грунтов различной теплопроводности. На примере условий Запорожского региона определена глубина годовых колебаний температуры грунта.

Ключевые слова: поверхностный слой Земли, температурное поле, теплопроводность грунта, глубина.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Обеспечение оптимального микроклимата животноводческих помещений требует значительных затрат энергии и средств [1, 2].

Без соблюдения оптимального микроклимата в помещениях, влияние которого состоит из совокупных действий температуры, влажности, газового состава воздуха, загрязнения воздуха, невозможно получить дешевую и качественную продукцию в короткие сроки.

Результаты многочисленных исследований свидетельствуют, что хозяйства, где содержат животных в помещениях с воздухом, в котором концентрация аммиака, сероводорода, углекислого газа, больше допустимой, несут значительные потери от снижения продуктивности животных, повышения уровня смертности, а также перерасхода кормов на единицу продукции [3].

Снижение затрат на обеспечение оптимального микроклимата является одним из путей повышения эффективности отрасли животноводства и возможно за счет использования альтернативных источников энергии, в частности геотермальной энергии.

Для рационального использования энергетического потенциала массива грунта техническими средствами, рабочими органами которых являются грунтовые теплообменники, необходимо определить его температурное поле, формируемое различными факторами (рис. 1).

При этом, прежде всего, необходимо определить природное температурное поле поверхностных слоев Земли (то есть при отсутствии теплового воздействия на массив грунта системы грунтовых теплообменников), которое затем будет учитываться при моделировании технологических процессов технических средств, способных использовать геотермальную энергию.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В [4-10] и многих других источниках приводятся зависимости, по которым возможно определить природное температурное поле поверхностных слоев Земли.

Однако эти зависимости не учитывают потока радиогенного тепла Земли, который для континентальных районов, к которым относится и территория Украины, составляет 65 ± 2 мВт/м² [11], рис. 2 [12] и приводит к равномерному возрастанию температуры грунта в среднем на 3 °С каждые 100 м глубины [13].

В источнике [14] приводится следующее выражение температурного поля поверхностных слоев Земли, в котором может быть учтен поток радиогенного тепла Земли.

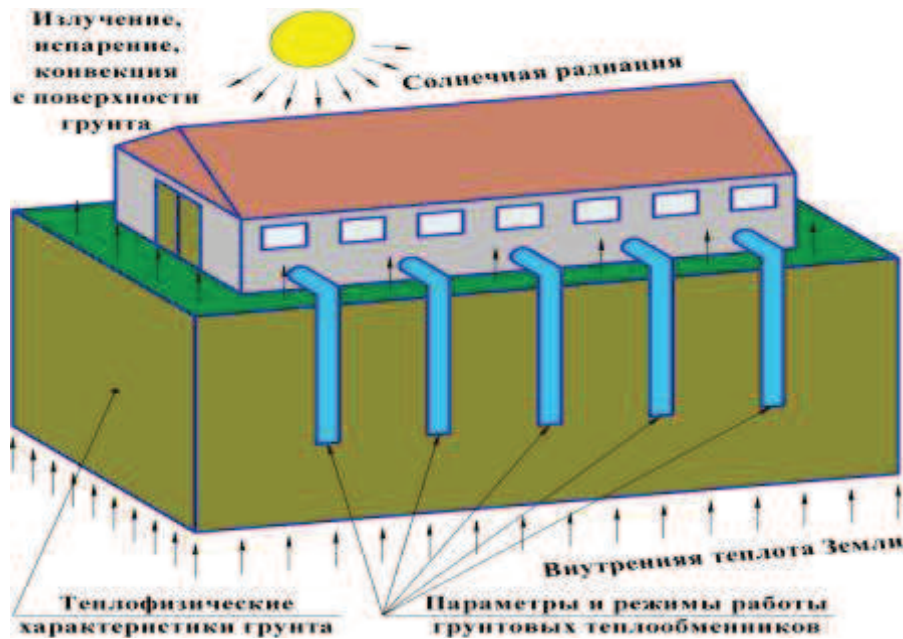


Рис. 1. Факторы, формирующие температурное поле массива грунта
 Fig. 1. Factors shaping the temperature field of soil mass

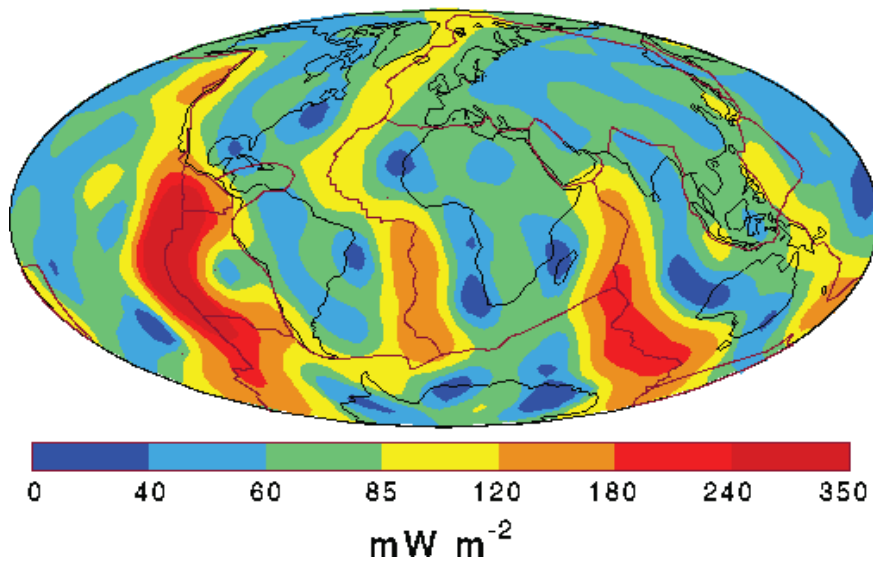


Рис. 2. Глобальное распределение теплового потока на поверхности Земной коры [12]
 Fig. 2. Global distribution of the heat flux on the surface of the Earth's crust [12]

$$T_2(z, t) = A_T e^{-z \sqrt{\frac{\pi}{a_2 \Theta}}} \sin \left(\frac{2\pi}{\Theta} t - z \sqrt{\frac{\pi}{a_2 \Theta}} \right) + \varphi(z), \quad (1)$$

где: $T_2(z, t)$ – температура грунта на глубине z в момент времени t , °C;

A_T – амплитуда колебаний температуры на поверхности грунта (при $z = 0$), °C;

a_2 – температуропроводность грунта, м²/мес.;

Θ – период колебаний, $\Theta = 12$ мес.;

$\varphi(z)$ – функция, описывающая распределение температуры по глубине грунта в начальный момент времени и которая может учитывать поток радиогенного тепла Земли.

Задача была решена при начальном условии $T_2(z, 0) = \varphi(z)$ и граничных условиях

$$T_z(\infty, t) = 0; \quad T_z(0, t) = A_T \sin\left(\frac{2\pi}{\Theta}t + t_0\right),$$

где: t_0 – начальная фаза.

Однако в этом источнике подробный вывод выражения (1) отсутствует. Кроме того полученное выражение не удовлетворяет начальному условию и граничному условию на поверхности грунта, в чем можно убедиться непосредственной подстановкой.

Таким образом, в настоящее время проблема решена не полностью.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Смоделировать природное температурное поле поверхностных слоев Земли.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Моделирование процессов теплопереноса, формирующих температурное поле такой многокомпонентной системы как грунт, представляет собой чрезвычайно сложную задачу, поскольку требует учета и математического описания разнообразных механизмов их осуществления: теплопроводности в отдельной частице, теплопередачи от одной частицы к другой при их контакте, молекулярной теплопроводности в среде, заполняющей промежутки между частицами, конвекции пара и влаги, содержащихся в поровом пространстве, и многих других. Строго говоря, при моделировании температурного поля грунта, кроме учета механизмов осуществления процессов теплопереноса, необходимо учитывать химико-минералогическую природу скелета, механическую структуру материала твердых частиц, степень дисперсности среды, форму и размер частиц и пор, число фаз, количественные соотношения между фазами и их взаимное расположение в среде, заполняющей поровое пространство, а также многие другие физико-химические параметры грунта. Детальный учет перечисленных факторов при моделировании температурного поля грунта представляет собой весьма серьезную проблему [15].

Однако используя модель эквивалентной теплопроводности, становится возможным с

достаточной точностью описать эти процессы одним дифференциальным уравнением в частных производных параболического типа, но с эквивалентными коэффициентами [16]. При этом грунт рассматривается как квази-однородное тело, к которому применимо обычное уравнение теплопроводности, связывающее между собой температуру T_z , время t и глубину z [4]

$$\frac{\partial T_z}{\partial t} = a_z \frac{\partial^2 T_z}{\partial z^2}. \quad (2)$$

Определение температурного поля грунта на основе решения исходного уравнения (2) возможно при заданных краевых, то есть начальном и граничном условиях.

Начальное условие определяется заданем закона распределения температуры вдоль глубины грунта в начальный момент времени

$$T_z(z, 0) = T_{z0} + k_T z, \quad (3)$$

где: T_{z0} – среднегодовая температура поверхности грунта, °С;

k_T – коэффициент, учитывающий возрастание температуры с увеличением глубины и зависящий от величины потока радиогенного тепла, для условий Украины можно принять $k_T = 0,03$ °С/м.

Граничные условия, выражающие закон взаимодействия между окружающей средой и грунтом, должны быть сформулированы на двух границах последнего.

Граничное условие на поверхности грунта можно записать в следующем виде

$$T_z(0, t) = T_{z0} + A_T \sin\left(\frac{2\pi}{\Theta}t\right). \quad (4)$$

Температурные колебания с увеличением глубины быстро затухают и, начиная с некоторой величины $z \geq Z$, температура грунта практически не меняется на расчетном интервале времени, что позволяет использовать следующее граничное условие [16]

$$T_z(Z, t) = T_{z0} + k_T Z = const. \quad (5)$$

Согласно [17] амплитуды годовых колебаний убывают практически до нуля на глубине около 30 м в полярных широтах, около 15-20 м в средних широтах, около 10 м в тропиках (где и на поверхности грунта годовые амплитуды меньше, чем в средних широтах). На этих глубинах начинается слой постоянной годовой температуры.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИРОДНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ЗЕМЛИ

Поэтому в граничном условии (5) можно принять $Z = 100$ м, что гарантированно обеспечит отсутствие колебания температур на этой глубине и приемлемые вычислительные затраты [18].

Используя [19], после аппроксимации данных многолетних наблюдений (рис. 3), определили температуру поверхности грунта для Запорожского региона как функцию времени

$$T_z(0, t) = 12,0 + 15,2 \sin\left(\frac{2\pi}{12}t + 4,15\right). \quad (6)$$

Выражение (6) содержит начальную фазу колебаний температуры равную 4,15 мес. Поэтому при моделировании природного поля температур грунта с использованием граничного условия (4), в котором начальная фаза отсутствует, время от начала процесса для Запорожского региона будет не 15 января (поскольку у нас есть данные только о среднемесячных температурах поверхности грунта), а примерно 20 апреля (см. рис. 3). То есть 20 апреля для природно-климатических условий Запорожского региона температура поверхности грунта имеет свое среднегодовое значение.

Чем больше плотность и влажность грунта, тем выше коэффициент температуропроводности, тем быстрее распространяются в

глубину и тем глубже проникают колебания температуры. Согласно [20] коэффициент температуропроводности грунтов $a_z = 0,76-2,67$ м²/мес. и при одинаковой плотности и влажности он зависит также от типа грунта. Так песок имеет наибольший коэффициент температуропроводности, супесь несколько меньший, а суглинки имеют наименьший коэффициент температуропроводности.

Решив численным методом уравнение (2) с крайними условиями (3), (4) и (5), а также учтя начальную фазу t_0 , получили зависимость температуры грунта от времени и глубины, визуализация которой представлена на рис. 4 и 5.

Как видно из рис. 5, для природно-климатических условий Запорожского региона годовые колебания температуры грунта достигают глубины $z = 9-17$ м.

Таким образом, алгоритм, позволяющий моделировать природное температурное поле поверхностных слоев Земли, заключается в следующем:

1) на основе источников [11, 12] определить k_T – коэффициент, учитывающий возрастание температуры с увеличением глубины;

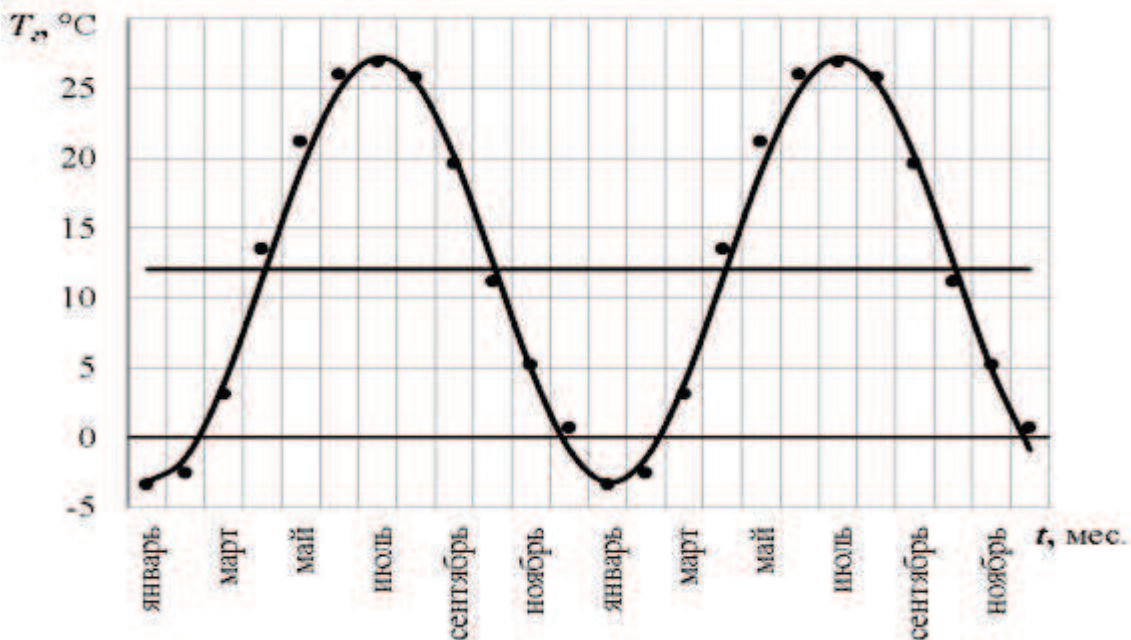


Рис. 3. Температура поверхности грунта по многолетним наблюдениям для Запорожского региона

Fig. 3. The surface temperature of the soil for long-term observations Zapor-rozhskogo region

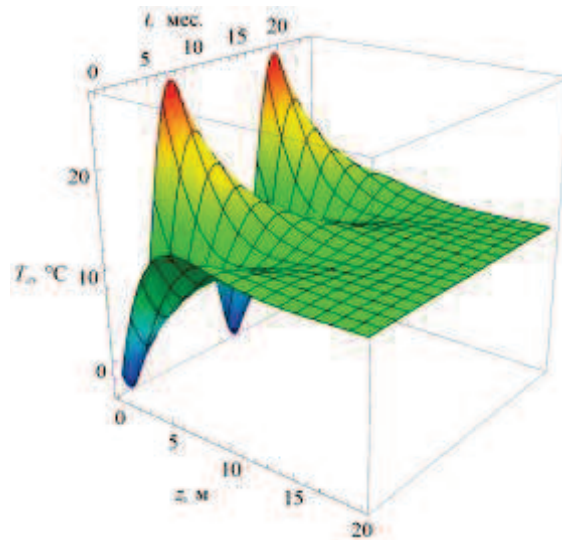
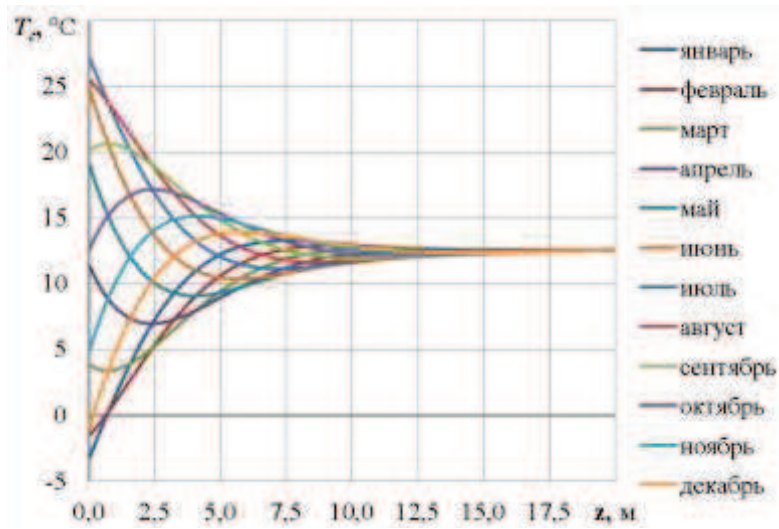
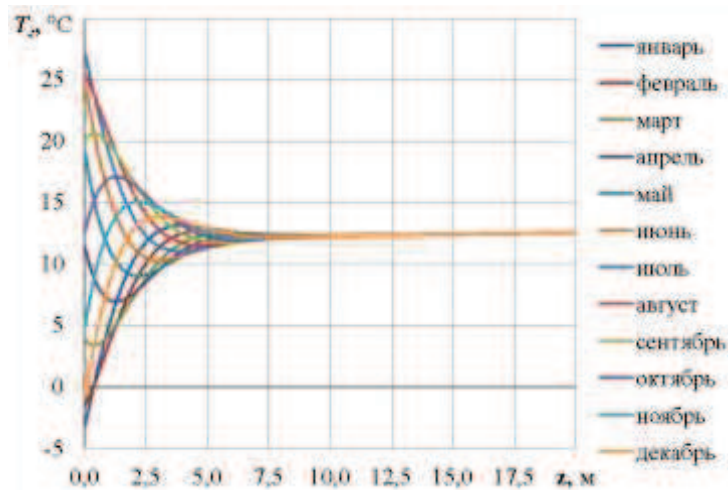


Рис. 4. Зависимость температуры грунта T_g от времени t и глубины z
Fig. 4. The dependence of the ground temperature T_g of the time t and depth z



а



б

Рис. 5. Температура грунта T_g для различных месяцев года в зависимости от глубины z при коэффициенте температуропроводности $a_z = 2,67 \text{ м}^2/\text{мес.}$ (а) и $a_z = 0,76 \text{ м}^2/\text{мес.}$ (б).

Fig. 5. Soil temperature T_g for the different months of the year, depending on the depth z with a coefficient of thermal

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИРОДНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ЗЕМЛИ

2) данные многолетних наблюдений из [19] или любого другого официального источника относительно температуры поверхности грунта аппроксимировать функцией вида $T_z(0, t) = T_{z0} + A_T \sin\left(\frac{2\pi}{\Theta}t + t_0\right)$;

3) по [20] для типа, плотности и влажности грунта определить коэффициент температуропроводности a_z ;

4) решить численным методом уравнение (2) с краевыми условиями (3), (4) и (5) и учесть начальную фазу t_0 .

ВЫВОД

Разработан алгоритм, позволяющий моделировать природное температурное поле поверхностных слоев Земли для различных природно-климатических условий и грунтов различной температуропроводности. Установлено, что для природно-климатических условий Запорожского региона годовые колебания температуры грунта достигают глубины $z = 9-17$ м. Полученные результаты будут использованы для моделирования технологических процессов технических средств, способных использовать геотермальную энергию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rozrobity 2011: Rozrobity projekt svinarskogo pidpriemstva na 12000 goliv vidgodivli v rik z vikoristannyam alternativnikh dzherel yenerгии ta yenergooshchadnogo tekhnologichnogo obladdannya : zvit pro NDR (zaklyuchnyy): № DR 0111U004422 / ker. O. S. Kovyazin, vik. O. V. Parieva, O. D. Potapenko // Institut mekhanizatsii tvarinnitstva NAAN. – Zaporizhzhya. – 105. – Inv. № 0212U006519.
2. Boltyanskaya N. 2012: Puti razvitiya otrasli svinovodstva i povysheniye konkurentosposobnosti yeye produktsii / Natalya Boltyanskaya // An international journal: Motrol. Comission and energetic in agriculture: Lublin-Kiev-Simferopol-Mykolayiv-Lviv-Rzeszów. – Vol. 14. – № 3. – 164-175.
3. Bugaevskiy V. M. 2010: Vpliv seredovishcha ta tekhnologii utrimannya na produktivnist sviney / V. M. Bugaevskiy, O. M. Ostapenko, M. I. Danilchuk // Naukovi pratsi: Naukovo-

metodichniy zhurnal. Yekologiya. – Mikolaiv : Vid-vo ChDU im. Petra Mogili. – T. 132. – Vip. 119. – 59-61.

4. Polyanin A. D. 2001: Spravochnik po lineynym uravneniyam matematicheskoy fiziki / A. D. Polyanin. – M.: FIZMATLIT. – 576.

5. Lykov A. V. 1967: Teoriya teploprovodnosti / A. V. Lykov. – M. : Vyssh. shk. – 600.

6. Tarasov A. I. 2011: Obosnovaniye grani-chnykh usloviy teploobmena pri modelirovanii gruntovykh teploobmennikov / A. I. Tarasov, V. A. Tarasova // Vostochno-evropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy. – 6/8(54). – 9-14.

7. Koshlyakov N. S. 1970: Uravneniya v chastnykh proizvodnykh matematicheskoy fiziki / N. S. Koshlyakov, E. B. Gliner, M. M. Smirnov. – M.: Vyssh. shk. – 712.

8. Denisova A. E. 2003: Integrovani sistemi alternativnogo teplopostachannya dlya yenergozberigayuchikh tekhnologiy (teoretichni osnovi, analiz, optimizatsiya): dis. ... d-ra tekhn. nauk: 05.14.06 / Alla Evsiivna Denisova. – Odesa. – 313.

9. Didukh V. 2002: Investigation of vibrating temperature process efficiency when drying agricultural materials / Volodymyr Didukh, Ruslan Kirchuk // An international journal: Motrol. Commission of motorization and energetics in agricultural: Lublin. – Vol. 2. – 46-51.

10. Ground-source 2005: Ground-source Heat Pump Project Analysis: Chapter // RETScreen® Engineering & Cases Textbook. – Ministry of Natural Sources of Canada. – 70.

11. Pollack H. N. 1993: Heat flow from the Earth's interior: Analysis of the global data set / Henry N. Pollack, Suzanne J. Hurter, Jeffrey R. Johnson // Reviews of Geophysics. – № 31(3). – 267-280.

12. Global: Global Heat Flow Data: [Elektron. resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.geophysik.rwthachen.de/IHFC/heatflow.html>.

13. Kavanaugh P. K. 1997: Ground-source Heat Pumps – Design of Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings / P. K. Kavanaugh, K. Rafferty // Publishing of American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA, USA. – 223.

14. Nerpin S. V. 1967: Fizika pochvy / S. V. Nerpin, A. V. Chudnovskiy. – M.: Nauka. – 584.

15. Vasilyev G. P. 2006: Teplokhadosnab-zheniye zdaniy i sooruzheniy s ispolzovaniyem nizkopotentsialnoy teplovoy energii poverkhnostnykh slojev zemli: dis. dokt. tekhn. nauk: 05.23.03 / G. P. Vasilyev. – M. – 432.
16. Chudnovskiy A. F. 1976: Teplofizika pochv / A. F. Chudnovskiy. – M.: Nauka. – 352.
17. Khromov S. P. 2006: Meteorologiya i klimatologiya / S. P. Khromov, M. A. Petro-syants. – M.: Izd-vo Mosk. un-ta: Nauka. – 582.
18. Samarskiy A. A. 2003: Vychislitel'naya teploperedacha / A. A. Samarskiy, P. N. Vabish-chevich. – M.: Yeditorial URSS. – 784.
19. Nauchno-prikladnoy 1990: Nauchno-prik-ladnoy spravochnik po klimatu SSSR. – Ser. 3. Mnogoletniye dannyye. – Ch. 1-6. – Vyp. 10. Ukrainskaya SSR. – Kn. 1. – L.: Gidrometeoiz-dat. – 608.
20. Osnovaniya 2005: Osnovaniya i fundamenty na vechnomerzlykh gruntakh: SNiP 2.02.04-88. – M.: Gosstroy Rossii. – 52.

MODELING OF NATURAL TEMPERATURE FIELDS OF SURFACE LAYERS OF EARTH

Summary. An algorithm has been developed, allowing to modeling the natural temperature field of surface layers of the Earth for different natural-climatic conditions and grounds of different thermal diffusivity. On the example of conditions in Zaporozhye region annual fluctuations of ground temperature in the depth is determined.

Key words: surface layer of the Earth, temperature field, thermal diffusivity of ground, depth.

ВЫРАЩИВАНИЕ КУКУРУЗЫ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СР - ТЕХНОЛОГИИ

Ольга Дубровина

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15*

Olga Dubrovina

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Технологии выращивания кукурузы на силос с применением методики UNIDO, позволяет определить возможности снижения химического воздействия на биомассу в процессе ее выращивания, уборки и подготовки к сбраживанию. Применение СР – технологии способствует уменьшению использования пестицидов и биологическая защита от насекомых, экологический эффект достигается за счет прямого посева кукурузы, частичного (В30) или полного (В100) перехода на дизельное биотопливо.

Ключевые слова: СР-технология, кукуруза на силос, дизельное биотопливо, биологический метод защиты растений, биогаз.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В структуре затрат на производство биогаза из растительных материалов наибольшую долю занимает себестоимость выращивания и переработки энергетических культур [2,6], которая вследствие колебаний на рынке может существенно меняться. Для эффективного выполнения технологий анаэробного сбраживания биомассы в странах Европы широко используют кукурузу, многолетние и однолетние травы, а также их смеси в виде сенажа или силоса [1,10].

Факторы, характеризующие взаимодействие биосубстратов с внешней средой и формируют качество процесса метаногенеза в метантенке, обусловленные тремя этапами, которые проходит биомасса энергетического назначения на пути превращения в биогаз и биоудобрения: I – выращиванием, II – сбором и предварительной переработкой; III – биотрансформацией в ферментационном реакторе [7,9].

Насыщение известных технологий выращивания сельскохозяйственных культур

элементами новейших биотехнологий, замена отдельных операций, адаптивными к повышенным требованиям качества первичного биосырья, открывает возможности создания новых, так называемых СР-технологий производства энергетических сельскохозяйственных культур (СР – это аббревиатура «Cleaner Production», что означает «более чистое производство»).

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью исследования является разработка СР-технологии выращивания кукурузы на силос с целью повышения эффективности метаногенеза при сбраживании многокомпонентных субстратов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ходе разработки СР-технологии произведен балансовый анализ энергетических потоков при выполнении технологических операций традиционной технологии производства кукурузы на силос. Проанализирована принципиальная схема базовой технологии выращивания кукурузы на силос (рис.1).

С целью улучшения экологической ситуации и снижения влияния антропогенных факторов на окружающую среду предложено ввести новую ресурсосберегающую технологию производства силоса из кукурузы. Такая СР-технология по сути позволяет реализовать «чистое» производство основного растительного субстрата для производства биогаза в условиях применения «прямого» посева агрегатом CASE + BOURGAULT – 8810; внесения средств защиты растений с принудительным осаждением воздушным потоком агрегатом МТЗ–82 + опрыскиватель «Стрекоза»; использования элементов биологиче-

ВЫРАЩИВАНИЕ КУКУРУЗЫ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СР - ТЕХНОЛОГИИ

ской защиты растений; частичной замены традиционного топлива на смесевое или чистое биотопливо.

Общая структурная модель производства энергетической кукурузы на силос при «более чистой» технологии создана на основе принципиальной схемы традиционной технологии с внесенными усовершенствованиями (рис. 2).

Согласно проведенному балансовому анализу материальных и энергетических потоков в СР – технологию должны входить технологические операции, которые уменьшают использование удобрений, средств защиты растений [8] и технологической воды; предотвращают загрязнение продукции и окружающей среды при производстве сельскохозяйственного сырья, в частности выхлопными газами энергетических транспортных средств.

При внедрении смесевое (В30) и чистого (В100) дизельных биотоплив использована продукция, произведенная и эксплуатируемая в ОП НУБиП Украины «Агрономическая опытная станция». Для расчетов принята стоимость дизельного биотоплива (В100) на уровне 0,85 стоимости традиционного ДТ при расходе В100 на основных сельскохозяйственных операций на 7% больше, чем при использовании ДТ [3].

Научно-производственной проверкой основных технологических операций производства кукурузы на силос установлено, что опции СР-технологии, предусмотренные структурной моделью, в условиях реального производства способствуют снижению воздействия антропогенных факторов на окружающую среду.

Анализ подтверждает целесообразность существенного сокращения использования минеральных удобрений, с 800 до 300 кг/га, при применении локально дозированного внесения их в защитную зону рядка вместо разбросного способа агрегатом МТЗ – 80 + МВУ – 6.

Замена в СР-технологии инсектицидов в виде средств химизации на средства биологизации позволила на 38% уменьшить химическое давление на окружающую среду, а также практически в 2 раза сократить расход воды на каждом гектаре посевов кукурузы на

силос. Новейшая ресурсосберегающая технология производства силоса из кукурузы способствует существенному уменьшению возможностей выработки и попадания ингибиторов в субстрат, которым является силос кукурузы. Общая экономия топлива на 1 га составляет 6,18 кг, соответствующие изменения претерпел и энергетический баланс при применении СР – технологии (рис. 2).

Фактические прямые затраты при реализации СР – технологии производства по сравнению с традиционной технологией, указывают на уменьшение влияния применения химических средств защиты растений (в %) на стоимость конечной продукции (силоса). Уменьшение эмиссий позволяет сократить поступление ингибиторов в субстрат, который поступает на ферментацию в биогазовый реактор.

Анализ диаграмм распределения прямых расходов сравниваемых технологий показал, что:

- в структуре прямых затрат СР – технологии уменьшились расходы на химические вещества: на удобрения – 63%, на средства защиты – 38%;

- учитывая, что полураспад биодизельного топлива происходит в 2 раза быстрее ДТ [5], поступления ингибиторов в субстрат посредством эмиссий В30 становится меньше на 23%.

Учитывая важность предотвращения загрязнения биомассы ингибиторами, вызванных выбросами ГСМ, нами дополнительно проанализировано влияние сравниваемых технологий на состояние окружающей среды (рис. 3).

В денежном выражении, прямые расходы традиционной, СР и перспективной технологий показали целесообразность применения СР – технологии выращивания кукурузы на силос (рис. 4), так как сокращение прямых расходов идет непосредственно за счет статей, которые вредят окружающей среде.

Научно-производственная проверка базовой технологии производства кукурузы на силос показала ряд недостатков, для устранения которых и были предложены мероприятия по ресурсо– и энергосбережения с внедрением новой СР – технологии (табл. 1).

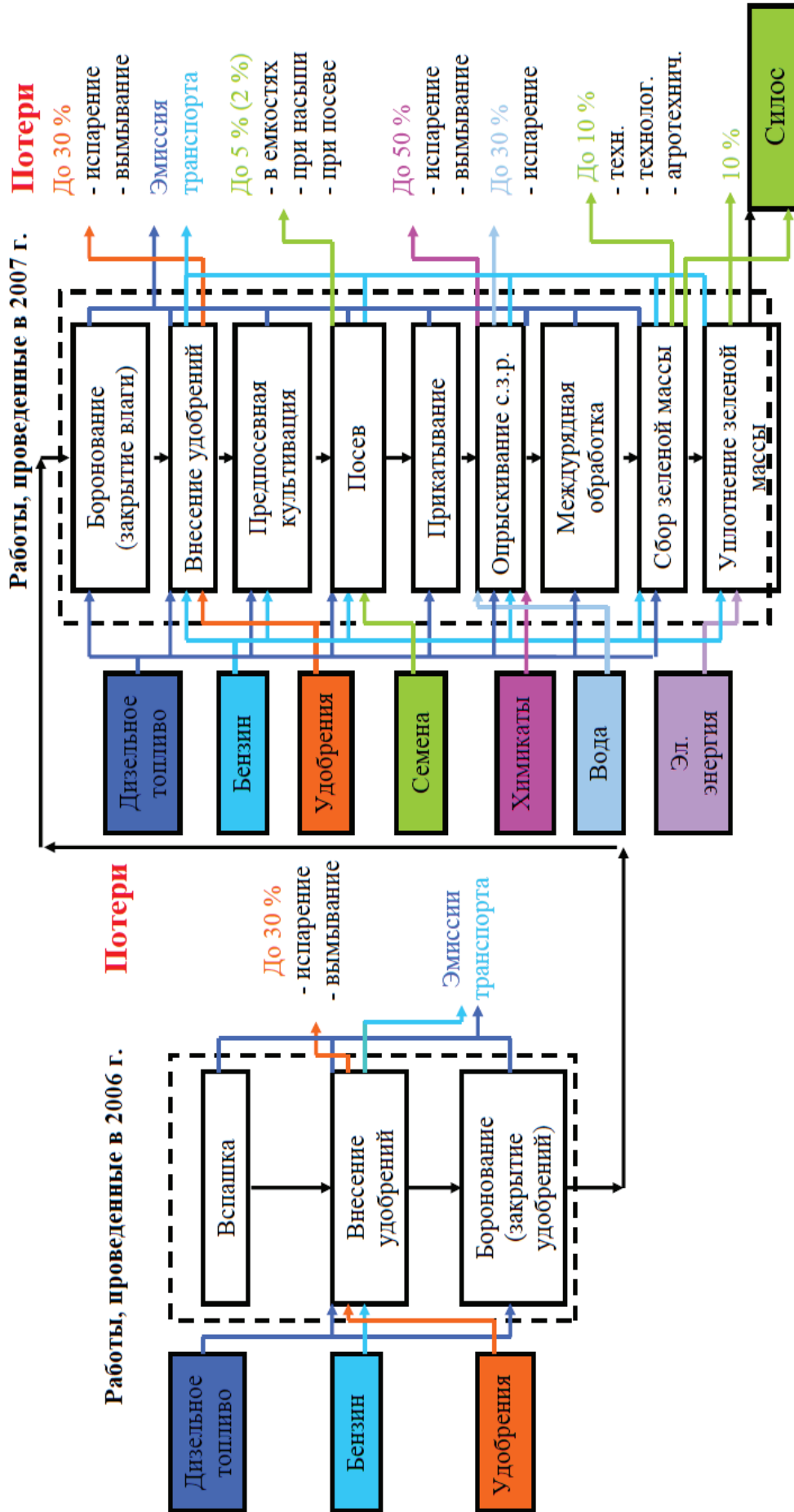


Рис. 1. Принципиальная схема базовой технологии производства кукурузы на силос
 Fig. 1. Schematic diagram of the basic technology of the production of corn for silage

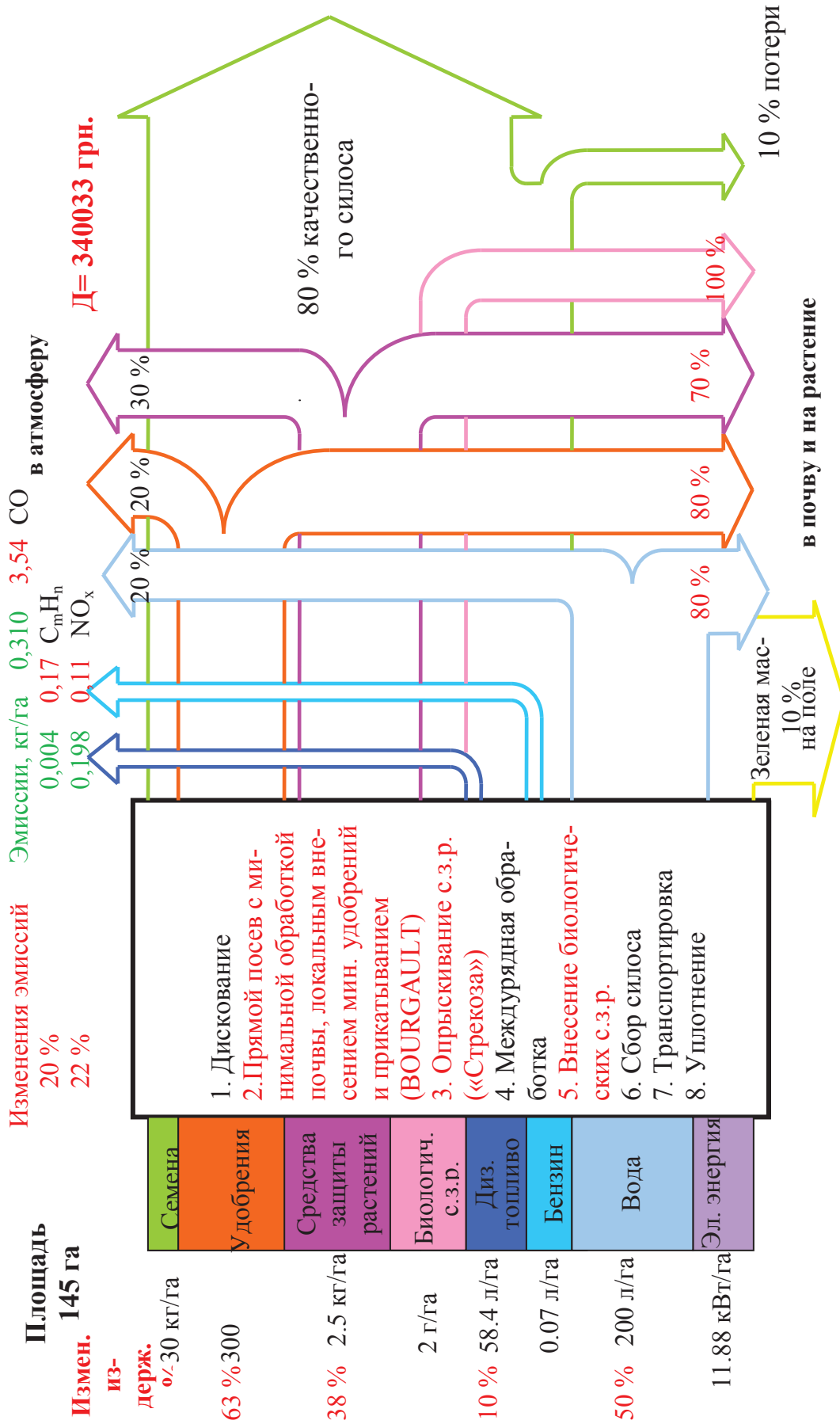


Рис. 2. Структурная модель выращивания кукурузы на силос с применением СР-технологии
Fig. 2. Structural model of the cultivation of corn for silage using CR - Technology

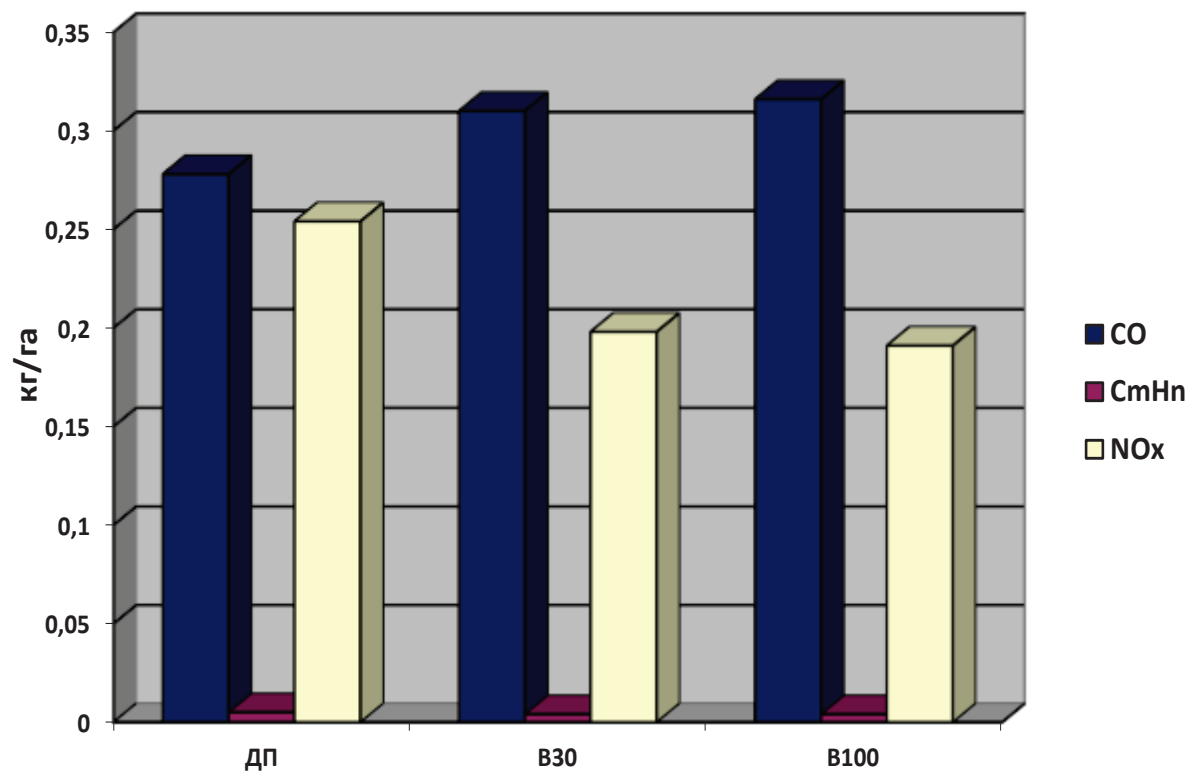


Рис. 3. – Эмиссии ГСМ при выращивании кукурузы на силос
 Fig. 3. - Emissions of fuel in the corn silage

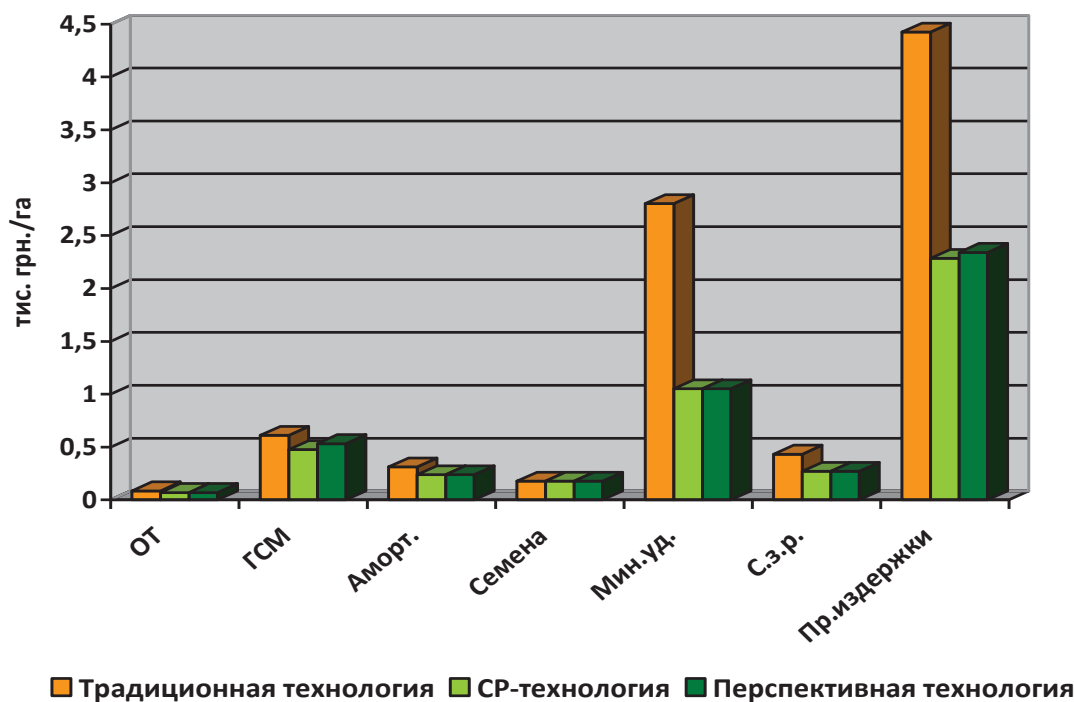


Рис. 4. Прямые издержки традиционной, CP и перспективной технологий выращивания кукурузы на силос, где:
 Fig. 4. Direct costs of traditional CP and promising technologies for growing corn for silage, where:

**ВЫРАЩИВАНИЕ КУКУРУЗЫ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СР - ТЕХНОЛОГИИ**

Таблица 1. Перечень мероприятий по ресурсо- и энергосбережению при внедрении СР – технологии

Table 1. List of measures for resource and energy efficiency in the implementation of the СР – Technology

Наименование мероприятия	Ожидаемый практический результат
1. Замена традиционного моторного ДТ на смесевое (В30), которое производится хозяйством	Сокращение до 30% использования традиционного ДТ
2. Применение «прямого» посева агрегатом	Экономия минеральных удобрений и других ресурсов до 30%
3. Использование опрыскивателя «Стрекоза»	Повышение эффективности средств защиты растений до 20%
4. Использование биологических средств защиты растений	Отказ (100%) от использования химических инсектицидов, повышение урожая на 10 %

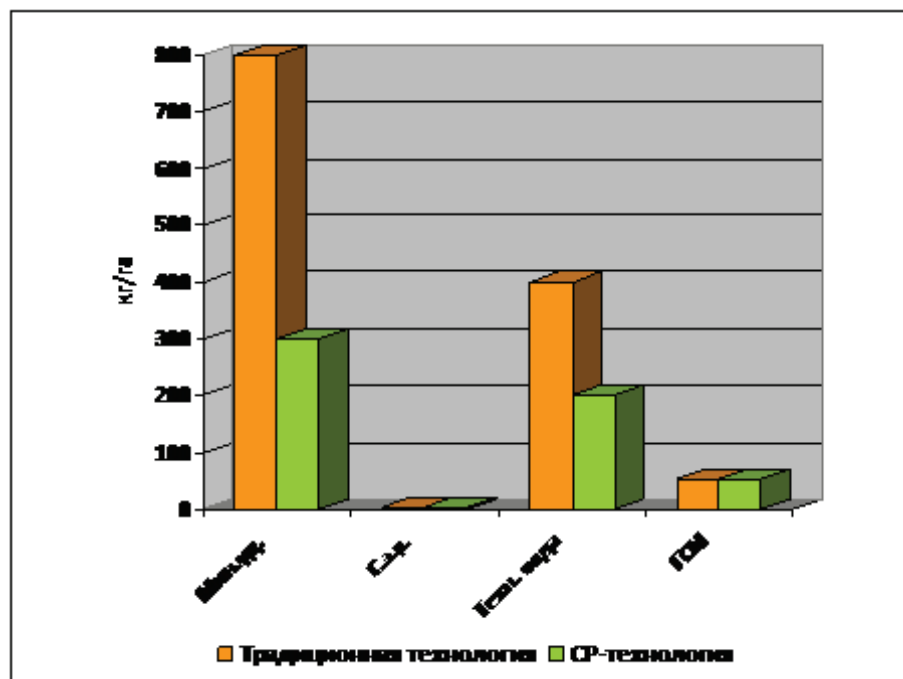


Рис. 5. Экологическая эффективность СР-технологии выращивания кукурузы на силос
Fig. 5. Environmental efficiency of СР - technology growing corn for silage

Внедрение в технологический процесс производства кукурузы на силос вышеуказанных мероприятий (табл. 1) позволило получить высокую экономическую эффективность выращивания данных культур, сокращено применение:

- минеральных удобрений на 500 кг/га;
- химических средств защиты растений на 1,5 кг / га;

- технической воды на 200 л / га;
- дизельного топлива на 6,18 л / га.

Преимущества использования СР – технологии для выращивания кукурузы на силос подтверждены, кроме вышесказанного, экологической эффективностью (рис. 5).

Анализ технико-экономических показателей показал высокую эффективность разработанной технологии. Уровень рентабель-

ности СР – технологии составил 93,42% при рентабельности базовой технологии выращивания кукурузы на силос на уровне 7,43%.

Эффективность реализованного проекта с «чистого производства» в сфере биоэнергетики в ОП НУБиП Украины «Агрономическая опытная станция» подтвержден сертификатом UNIDO.

ВЫВОДЫ

Разработанная СР-технология выращивания кукурузы на силос позволяет при меньших прямых затратах достичь сокращения использования ресурсов (удобрений, средств защиты растений, ДТ и т.д.), а также уменьшить антропогенную нагрузку на окружающую среду и частично устранить причины загрязнения субстрата (силосной кукурузы) ингибиторами процесса сбраживания.

Ограничено негативное влияние традиционных технологических операций сельскохозяйственного производства на окружающую среду за счет уменьшения уплотнения почвы, сокращение использования химических средств защиты растений и удобрений, замены традиционного на смесевое дизельное топливо.

ЛИТЕРАТУРА

1. Krivoruchko V., Amon T., Dubrovin V. i dr. Energeticheskoye ispolzovaniye biomassy v biogazovykh ustanovkakh. – Plock: Warsaw University of Technology, 2002. – 93–98.
2. Dubrovin V.O., Korchemniy M.O., Maslo I.P. ta in. Biopaliva (tekhnologii, mashini i obladnannya). – Kiev, 2004.
3. P.Jevic, V.Dubrovin, Z.Sediva. Existing standards and their need for liquid and gaseous alternative fuels / Journal of research and applications in agricultural engineering. – Poznan, 2005. – Vol. 49.– 14–16.
4. V. Dubrovin, M. Melnychuk, P. Jevič. Oil plants cleaner production & processing for bioenergy development / Proceedings of the 6th Research and development Conference of Central- and Eastern European Institutes of agricultural engineering (CEE Ag Eng). – Kaunas: IAE LUA, 2009. – Kaunas: IAE LUA, 2009. –60-64.
5. Dubrovin V.O., Anna Gzhibek, Lyubarskiy V.M. Bioenergiya v Ukraini – rozvitok sil-

skikh teritoriy ta mozhlivosti dlya okremikh gromad. – Kaunas: IAE LUA, 2009. – 120.

6. Kravchuk V.I., Dubrovin V.O. Tekhnologii ta obladnannya dlya vikoristannya ponovlyuvanikh dzherel yenerгии v silskogospodarskomu virobnitstvi. – Doslidnitske: UkrNDIPVT im. L.Pogorilogo. – 2010. – 184.
7. Mironenko V.G., Dubrovin V.O., Polishchuk V.M., ta in. Tekhnologii virobnitstva biogazu. – K.: Kholtekh, 2010. – 84.
8. Yu.I. Starchevskiy, V.O. Dubrovin, I.P. Starchevskiy. Tekhnologichni osnovi stvorennaya kompleksnoi pilotnoi biofabriki dlya biozemlerobstva / Motrol. Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa. — Lublin 2010. - Tom 12B. – 43-48.
9. Ya.B.Blyum, G.G.Geletukha, I.P.Grigoryuk ta in. Biologichni resursi i tekhnologii virobnitstva biopaliva. – K: «Agrar Media Grup», 2010. – 403.
10. Laurencas Raslavicius, Anna Grzybek, Valeriy Dubrovin. Bioenergy in Ukraine – Possibilities of rural development and opportunities for local communities / Energy Policy 39 (2011) 3370-3379, Elsevier Ltd, Oxford, UK.
11. Dubrovin V. 2012: Proizvodstvo entomologicheskogo preparata trikhogrammy / V.Dubrovin, G.Golub, O.Marus. – Motrol, 14. – №3. – 9–20.
12. Melnichuk M.D. 2003: Biotekhnologiya rasteniy / M.D. Melnichuk, T.V. Novak, V.A. Kunakh. – K.: Poligrafkonsalting. – 520.
13. Selskokhozyaystvennaya biotekhnologiya. 1998: Ucheb. / V.S. Shevelukha, Ye.A. Kalashnikova. S.V. Degtyarev i dr.: Pod red. V.S. Shevelukhi. – M.: Vyssh. Shkola. – 416.
14. Encyclopedia 2001: Encyclopedia of Physical Science and Technology, 3rd Edition, Biotechnology / Editor Robert A. Meyers – Academic Press Edition: 3rd. – 911.
15. Engineering 2001: Engineering and Manufacturing for Biotechnology Series: Focus on Biotechnology, Vol. 4 / Hofman, M.; Thonart, P. (Eds.) – Springer. – 496.
16. Targonya V. 2010: Algoritm rozroblennaya biotekhnologichnoi skladovoi biokonversnogo kompleksu / V. Targonya // Tekhniko-tekhnologichni aspekti rozvitku ta viprobuvannya novoi tekhniki i tekhnologiy dlya silskogo gospodarstva Ukraini: zbirnik naukovikh prats UkrNDIPVT im. L. Pogorilogo. – Vip. 14 (28). – 348–356.

17. Zhalnin E.V. 1971: Dinamometricheskii sposob otsenki obshchey svyaznosti solomistykh chastits v sloye // Mekh. i elektr. sots. sel. khoz-va. - M.: - №8. - 49-52.
18. Koegel R.G. 1985: Quantification of mechanical losses in forage harvesting // Trans. of ASAE. -V.28. -№4. - 1047-1051.
19. Boltyanskaya N. 2011: Obosnovaniye konstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov separiruyushchikh poverkhnostey zhalyuziynykh reshet zernouborochnykh kombaynov // MOTROL. - Lublin. - 13B. - 111-116.
20. Bioenergiya 2009: Bioenergiya v Ukraini - rozvitok silskikh teritoriy ta mozhlivosti dlya okremikh gromad: Naukovo-metodichni rekomendatsii / [V.O. Dubrovin, M.D. Melnichuk, Yu.F. Melnik ta in.] - K: NUBiP Ukraini. - 122.
21. Nedovesov V.I., Mikitenko M.R. 1986: Mekhaniko-tekhnologicheskiye osnovy razrabotki stogoobrazovatelya // Tr-ry i s.-kh. mashiny. - №7. - 23-24.
22. Atomistika 1985: Atomistika razrusheniya // Novoye v zarubezhnoy nauke: Per. s angl. / Pod red. R.V. Goldshteyna. - M.: Mir. - Vyp. 40. - 246.
23. Yeremenko O.I. 2001: Rezultati doslidzhen protsesu pozdovzhnogo stisnennya stogu, obruntuvannya dovezhni robochoi kameri pristroyu ta vibir klasu traktora // Mizhvid. temat. nauk. zb. "Mekhanizatsiya ta yelektrifikatsiya silskogo gospodarstva". - Glevakha: NNTs "IMESG". - Vip. 85. - 123-127.
24. Yeremenko O.I., Kuzmich Ya.A., Gondar V.B. 2009: Obruntuvannya grafoanalitichnoi modeli strizhnevikh silskogospodarskikh materialiv // Naukoviy visnik Natsionalnogo universitetu bioresursiv i prirodokoristuvannya Ukraini. - K.: - Vip.134, ch. 2. - 138-145.
25. Novitni 2010: Novitni tekhnologii bioenergokonversii: monografiya / [Ya.B. Blyum, G.G. Geletukha, I.P. Grigoryuk ta in.] - K.: Agrar Media Grup. - 360.
26. Cherepanov G.P. 1983: Mekhanika razrusheniya kompozitsionnykh materialov. - M.: Nedra. - 296.
27. Loveykin V. 2012: Optimizatsiya rezhimov kolebaniy zernovykh smesey pri nalichii sukhogo treniya / V. Loveykin, Yu. Chovnyuk, V. Kulyk // MOTROL Commission of Motoriza-
- tion and Energetics in Agriculture. - Lublin. - Vol. 14, № 3. - 140-147.
28. Svetlitskiy V. A. 1987: Mekhanika sterzhney / V 2-kh ch. - M.: Vysshaya shkola, - Ch. 1. - 320.

MAIZE CULTIVATION FOR ENERGY PURPOSES USING CP-TECHNOLOGY

Summary. Technology of corn growing using UNIDO methodology, allows determining the possibilities to reduce chemical effects on biomass within its growing period, harvesting and preparation for fermentation. Application of CP - technology promotes pesticide consumption reduce and biological plant protection, ecological effect can be reached due to direct corn sowing and partial (B30) or complete (B100) switching to diesel biofuel.

Key words: CP-technology, corn for silage, diesel biofuel, biological plant protection, bio-gas.

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ АДАПТИРОВАННОЙ КОРНЕУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ

Валерий Дубровин¹, Геннадий Голуб¹, Виктор Барановский², Виктор Теслюк¹

*¹Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15*

*²Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя
Украина, г. Тернополь, ул. Руськая, 56*

Valeriy Dubrovin¹, Gennadiy Golub¹, Victor Baranovskiy², Victor Teslyuk¹

*¹National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine*

*²Ternopil National Technical University after named Ivan Puluy
Ruska Str., 56, Ternopil, Ukraine*

Аннотация. Приведены этапы усовершенствования, строение и принцип функционирования адаптированных рабочих органов транспортно-технологических систем корнеуборочной машины, которая предназначена для одновременного уборки корнеплодов сахарной, кормовой, столовой свеклы и моркови. На основе идентификации объектов исследования (существующих типов копачей и очистителей вороху корнеплодов) определены основные пути и принципы разработки, или алгоритм построения конструктивно-компоновочной схемы адаптированной корнеуборочной машины.

Ключевые слова: ворох, корнеплоды, примеси, транспортно-технологическая система, комбинированный рабочий орган, копатель, очиститель, адаптирована корнеуборочная машина.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Проблема повышения технического уровня корнеуборочных машин (КМ), основным критерием оценки которых, является соотношение потерь, загрязненности и повреждений корнеплодов, остается особенно актуальной в плане дальнейшего развития отечественной корнеуборочной техники, развитие и производство которой в Украине за последние годы практически прекратилось.

Характерным современным признаком общей тенденции процесса уборки крупно-размерных корнеплодов, особенно сахарной и кормовой свеклы, есть масштабное применение однофазных энергозатратных само-

ходных бункерных комбайнов (СКБ). Они сочетают фазы уборки (сбор ботвы, очистки остатков ботвы, выкапывания корнеплодов, очистки выкопанного вороха корнеплодов от примесей, загрузки корнеплодов в большие кагаты на поле или в транспортные средства) в одну последовательную технологическую операцию, то есть реализуют принцип однофазного уборки корнеплодов.

В странах ЕС такими СКБ ежегодно собираются до 70 %, а в некоторых странах, например Германия, Франция, и значительно больше посевных площадей корнеплодов сахарной и кормовой свеклы. Функциональные схемы таких СКБ не всегда и не в полной мере отвечают современным требованиям показателей качества уборки корнеплодов за счет существующих недостатков [1].

При этом, невзирая на достаточно сложные многоступенчатые транспортно-технологические системы (ТТС) рабочих органов для выкапывания и очистки вороху корнеплодов, выкапывающие рабочие органы (ВРО) подают с выкопанными корнеплодами на следующие очистительные системы КМ значительное массовое количество почвенных примесей. Как следствие - после очистки выкопанного вороха от примесей такими системами из полей вывозится количество плодородной почвы, эквивалентной 10...15 см пахотного слоя на площади уборки равной 100 гектарам [2], невзирая при этом, что общая протяженность (технологическая длина) очистительных поверхностей достигает 8...10 (м) и больше [3].

Современные направления развития КМ предусматривают разработку и внедрение в

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ АДАПТИРОВАННОЙ КОРНЕУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ

сельскохозяйственное производство высокопроизводительных, энергосберегающих и технологически надежных уборочных комплексов и технических средств, которые будут адаптированными к одновременному сбору корнеплодов сахарной, кормовой, столовой свеклы и моркови одной адаптированной корнеуборочной машиной (АКМ). Критериями соответствия современных требований технологического процесса работы АКМ, в первую очередь, являются показатели качества выкапывания и сепарации примесей корнеплодов [4].

Проведенный анализ работы известных выкапывающих и очистительных рабочих органов КМ показал, что они значительно повреждают крупноразмерные и теряют мелкие корнеплоды и не удовлетворяют показателям качества очистки вороху корнеплодов от примесей в условиях чрезмерной влажности почвы.

Кроме того, в таких типах копателей и очистителей вороха корнеплодов конструктивно и технологически невозможно соединить при сборе одновременно две технологические операции - выкапывания корнеплодов и отделение связанных примесей от корнеплодов с одновременным удалением остатков ботвы на их головках [5, 6].

Поэтому сочетание операции удаления остатков ботвы на головках корнеплодов одновременно с процессом их выкапывания и сепарации свободных примесей, является дальнейшим шагом разработки, исследования и внедрения в производство ТТС комбинированных рабочих органов АКМ.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Результаты, которые приведены в трудах [7-10 и др.] целостно характеризуют только общие основные принципы функционирования ВРО и очистительных рабочих органов (ОРО). Анализ обобщенных критериев, целенаправленных тенденций и путей интенсификации процесса очистки корнеплодов от примесей, или показателей качества работы АКМ отсутствует.

Данные исследования являются дальнейшим развитием методологии и методики технологических аспектов разработки про-

цессов функционирования ТТС рабочих органов АКМ.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является повышение технико-экономических показателей технологического процесса уборки корнеплодов АКМ при удовлетворительных показателях качества работы путем усовершенствования принципов разработки ТТС комбинированных рабочих органов АКМ.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В условиях ведения хозяйства многоотраслевыми аграрными фермерскими предприятиями, которые выращивают корнеплоды сахарной, кормовой, столовой свеклы и моркови, актуальной технико-экономической проблемой является окупаемость реализации технически сложных и слишком дорогих (от 150 до 350 тыс. грн. за единицу) СБК.

Это связано с их ограниченными климатическими сроками использования (около одного календарного месяца) на незначительных площадях (особенно кормовой и столовой свеклы и моркови), причем 90 % этих общих площадей корнеплодов еще собирается раздельными дво- или трехфазными энергозатратными, экономически убыточными способами [11].

Использование АКМ, конструктивно-компоновочные схемы которых построены на основе применения адаптированных ВРО и ОРО значительно расширит сроки работы АКМ в течение года путем уборки корнеплодов сахарной, кормовой, столовой свеклы и моркови одной АКМ при стабильных агротехнических показателях качества работы, которая приведет к росту технико-экономической эффективности производства корнеплодов.

В основу решения научной проблемы повышения технико-эксплуатационных и агротехнологических показателей качества работы АКМ положена гипотеза о возможности значительного расширения диапазона и сроков применения машин для уборки корнеплодов. Это реализуется путем разработки и обоснования параметров и общих конструк-

тивно-технологических принципов и аспектов использования АКМ, построенных на основе исследования ее ТТС адаптированных комбинированных рабочих органов.

Разработка, или алгоритм построения конструктивно-компоновочной схемы АКМ должен базироваться на применении в ее функциональной схеме основных адаптированных ТТС - адаптированного выкапывающего транспортно-очистительного комбинированного рабочего органа (АВТОКРО) и адаптированного транспортно-очистительного комбинированного рабочего органа (АТОКРО), которые являют собой моноблочные ТТС выкапывающих и очистительных комбинированных рабочих органов, принципы функционирования которых основаны на общих свойствах процесса работы технологических адаптеров многофункционального (в некоторой степени универсального) типа, их назначения и способов применения во время уборки корнеплодов.

Разнообразие конструктивных схем ВРО и ОРО КМ в прямой зависимости тесно связано, как с технологическими процессами уборки, так и с конструктивно-технологическими требованиями к показателям качества уборки разных культур и сортов корнеплодов, основными из которых являются показатели качества выкапывания корнеплодов и их очистки от примесей.

Большое количество созданных конструкций рабочих органов, узлов и компоновочных схем выкапывающих и очистительных устройств требует дифференцированного подхода при выборе, расчете, проектировании, исследовании и внедрении новых разработок в производство. Поэтому классифицированный подход с учетом особенностей рабочих органов, схем их компоновки и способов функционирования, обеспечит возможность проведения анализа и синтеза необходимой конструктивно-технологической схемы адаптированных ВРО и ОРО, или в целом конструктивно-компоновочной схемы АКМ для конкретных условий эксплуатации.

Критериями обоснования адаптивных ВРО и ОРО должны быть положены общие основные принципы оптимизационных свойств подобия агрофизических характеристик корнеплодов и функционирование технологического процесса выкапывания и

очистки корнеплодов от примесей, а также основные технологические аспекты возможной адаптации сельскохозяйственных машин [12].

Общие принципиальные недостатки работы существующих и технически реализованных типов ВРО (лемешных, вилковых, двухдисковых, вибрационных) и ОРО (транспортных, шнековых, лопастных, турбинных), которыми в основном оборудуют навесные, прицепные и самоходные КМ, СБК следующие:

- для ВРО: относительно значительная секундная подача свободной и налипшей на поверхности тела корнеплодов почвы (7..10 кг/с), остатков ботвы на головках корнеплодов (от 0,5 до 1,5 кг/с) из одного погонного метра строки при рабочей скорости КМ 1,6 м/с. При этом до 70 % от общего количества складывает масса свободной и налипшей почвы, до 10 % - остатков ботвы на головках корнеплодов, что привело к увеличению протяжности и конструктивной сложности очистительных ТТС [3, 13];

- для ОРО: относительное, как процентное (до 3 % относительно массы корнеплодов), так и массовое количество налипшей почвы на поверхности тела корнеплодов, а также процентное (от 0,5 до 1,5 % относительно массы корнеплодов) и массовое количество остатков ботвы на головках корнеплодов. Это значительно снижает в зависимости от культуры, в одном случае, качество сахарного сырья и выход сахара, или в ином случае - срок хранения продукции. Кроме того, вместе с собранными корнеплодами из полей вывозится в среднем от 1,5...3,0 % плодородной почвы в зависимости от урожайности культуры [3, 14].

Анализ процессов работы КМ показал, что объективной причиной технологического несовершенства работы существующих ВРО и ОРО является то, что в них конструктивно и технологически качественно невозможно одновременно объединить две технологические операции в одну - выкапывание и очистку вороха корнеплодов с одновременным удалением остатков ботвы на их головках. Кроме того, при этом очистка корнеплодов от примесей происходит в одном технологическом потоке - корнеплоды и примеси передвигаются по поверхности рабочих ор-

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ АДАПТИРОВАННОЙ КОРНЕУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ

ганов очистителей в одном продольном или поперечном направлениях, что значительно утрудняет процесс отделения разного рода примесей от корнеплодов.

Поиск более радикальных путей повышения технологической надежности работы лемешных и вилокочных копателей корнеплодов за счет увеличения активности их рабочих поверхностей было достигнуто за счет предоставления лемешным рабочим органам колеблющихся движений, или вилокочным копахам - вращательного движения, что существенно повысило полноту выкапывания и интенсивность процесса.

Наиболее универсальными считаются двухдисковые копахи, характерным признаком которых является вертикальное расположение двух сферических дисков, при этом вертикальные оси дисков образуют угол развала, а горизонтальные - угол атаки.

Двухдисковые выкапывающие рабочие органы удовлетворительно убирают корнеплоды в широких почвенно-климатических условиях: в сравнении с лемешными или вилокочными копахами, имеют повышенную комкоразрушающую способность; не теряют работоспособности при работе на участках поля с повышенной влажностью почвы и засоренностью посевов; имеют значительно увеличенный ресурс наработки.

Двухдисковые копахи имеют один существенный недостаток - защемляют не измельченные комки почвы, которые поступают на следующие очистительные системы

машины, чем значительно снижают, установленные агротехническими требованиями, показатели качества работы.

Кроме того, аналогично к лемешным и вилокочным копахам, в существующих двухдисковых копах конструктивно и качественно технологически невозможно соединить при сборе одновременно две технологических операции - выкапывания корнеплодов с одновременным удалением остатков ботвы на их головках, невзирая на всех другие конструктивные недостатки:

Из всей разновидности копахей, однодисковые сферические, или так называемый "евродиск" (рис. 1а), имеют простую конструкцию, есть наименее металло- и энергозатратными сравнительно с другими типами копахей, имеют широкий спектр применения для выкапывания корнеплодов при удовлетворительных показателях качества их работы. Ось 2 вращения сферического диска 1 копахей образует угол атаки α в горизонтальной плоскости относительно оси рядка корнеплодов [15].

Существенные недостатки процесса работы двухдисковых копахей, которыми являются неудовлетворительное углубление рабочей кромки диска в почву при ее сниженной влажности, отсутствие одновременного с выкапыванием корнеплодов удаления остатков ботвы на их головках, могут прогнозируемо устраняться дальнейшим усовершенствованием данного типа копахей.

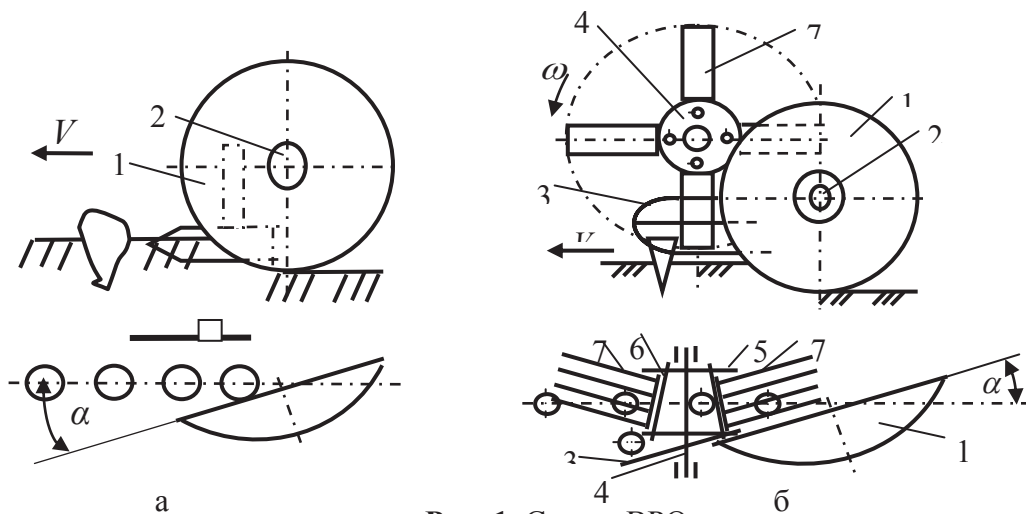


Рис. 1. Схемы ВРО:
Fig. 1. Charts of VWO:

а – однодискового копахей; б – базового АВТОКРО

Повышение технологических показателей и показателей качества работы существующих копателей корнеплодов, а в общем - всей АКМ, решается применением базового варианта АВТОКРО (рис. 1б), или дополнительной установкой в передней зоне работы сферического диска 1 корненаправителя 3 и горизонтального очистительного вала 4, на котором радиально закреплены фланцы 5. Между фланцами по их кругу последовательно установлены параллельные оси 6, которые возвращены относительно оси очистительного вала под острым углом. На параллельных осях шарнирно закрепленные секции плоские упругие лопасти 7.

Во время движения АВТОКРО, корненаправитель 3 смещает, предварительно выбитая во время срезания ботва рабочими органами гичкозбиральної машины корнеплоды из строки к его центру, а сферический диск 2 выкапывает корнеплоды. Одновременно с выкапыванием корнеплодов сферическим диском, за счет вращения очистительного вала, плоские упругие лопасти контактируют с головками корнеплодов, очищая их головки от остатков ботвы на них за счет их контактного взаимодействия с остатками ботвы. Поворот параллельных осей на острый угол относительно оси очистительного вала позволяет плоским упругим лопастям наносить удары по головкам корнеплодов сбоку строки, которые улучшает очистку разновысоких корнеплодов, при этом высокий корнеплод не прикрывает низкий корнеплод от косога удара. Кроме того плоские упругие лопасти

также взаимодействуют еще и с комьями почвы, при этом происходит разрушение комков почвы и проталкивание выкопанного вороху корнеплодов на следующие ТТС, что повышает технологические возможности АКМ [16].

Во время выкапывания корнеплодов в условиях сухой твердой почвы происходит повреждение хвостовой части корнеплодов в результате их взлома за счет недостаточной вертикальной силы выталкивания корнеплодов, которое приводит к их значительным потерям. Для устранения взлома хвостовой части корнеплодов или их потерь, сферический диск 1 (рис. 2а) и фланцы 5 устанавливаются под острыми углами, соответственно φ и δ к вертикальной плоскости. При этом ось 6, которая занимает на фланце крайнее нижнее положение, образует с плоскостью, которая проходит через лезвие сферического диска угол ε , равный или близкий до 90° .

Односторонний сферический диск 1 выкапывает корнеплоды путем извлечения их вверх за счет возникающей при этом дополнительной проекции боковой силы выталкивания, которая направлена на вертикальную плоскость. В момент удара плоских упругих лопастей 7 по головке корнеплода происходит их поворот вокруг своих осей 6 и в плоскости удара за счет установления фланцев 5 под углом δ к вертикальной плоскости и повернутым осями на угол относительно оси вала 4.

Так как оси, которые встановлены на

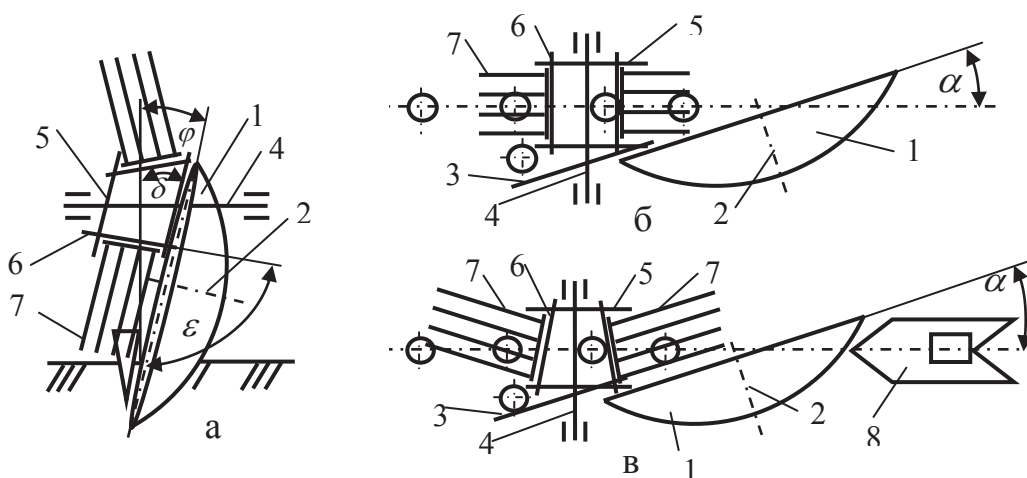


Рис 2. Схемы АВТОКРО
Fig 2. Charts of CAFTCCWO

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ АДАПТИРОВАННОЙ КОРНЕУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ

фланцах в своем крайнем нижнем положении перпендикулярны плоскости, которая проходит через лезвие сферического диска, или наклонены к ней под углом, близким к прямому, то и плоские упругие лопасти в нижнем положении также параллельны этой плоскости и не контактируют с поверхностью сферического диска, который снижает их износ [17].

Для повышения отделения остатков ботвы из головок корнеплодов, особенно сахарной свеклы и моркови и разрушения комков почвы за счет увеличения силы контактного взаимодействия (силы прямого центрального удара) плоских упругих лопастей по головке корнеплодов и комков почвы, параллельные оси 6 (рис. 2б) устанавливаются параллельно оси вращения очистительного вала. Одновременно с выкапыванием корнеплодов, за счет вращения очистительного вала 4, плоские упругие лопасти взаимодействуют с головками корнеплодов и комком почвы, при этом происходит прямой удар плоских упругих лопастей со следующим удалением остатков ботвы из головок корнеплодов и разрушением комка почвы [18].

Для выкапывания корнеплодов, которые глубоко залегают относительно поверхности почвы (сахарная свекла, некоторые сорта моркови) применяют рыхлители 8, установленные сзади хода сферического диска 1 (рис. 2в), которые могут быть выполнены в виде культиваторной лапы или долота.

В процессе работы рыхлитель 8, перемещаясь вперед, предварительно подкапывает корнеплоды, при этом нарушаются связи корнеплодов с почвой, то есть происходит предыдущее крошение пласта почвы. Корнеплоды, связь которых с почвой нарушается, дальше легко выкапываются из раскрошенной почвы сферическим диском 1 и смещаются им в направлении плоскости, которая проходит через лезвие сферического диска. При этом имеем возможность углублять сферический диск к рациональной глубине с таким расчетом, чтобы не терять корнеплоды и подавить на адаптированные очистительные ТТС АКМ минимум почвы и растительных примесей [19].

Повышение технологической эффективности (качества) работы очистительных систем путем увеличения активности их рабо-

чих поверхностей было достигнуто за счет разграничения движения базовых потоков корнеплодов и примесей на два взаимно перпендикулярные направления. Данный принцип очистки реализован на основе применения комбинированного очистителя вороха [20], который состоит из подающего горизонтального пруткового транспортера 1 (рис. 3) и установленного с зазором над прутками 2 и перпендикулярно направлению скорости движения V_{mp} рабочей ветви горизонтального транспортера отводного шнека 3. Отводной шнек выполнен в виде трубы 4, на поверхности которой по винтовой линии установлены спиральные витки 5. Отводной шнек вращается встречно направлению движения подающего транспортера с угловой скоростью ω .

При подаче к шнеку вороха, составными компонентами которого являются корнеплоды с налипшей почвой и остатками ботвы на их головках и без них, свободные почве и растительные примеси происходит заполнение ворохом пространства между спиральными витками шнека и пространства между шнеком и рабочей ветвью подающего транспортера. Спиральные витки шнека, взаимодействуя с корнеплодами, передвигают их в сторону, то есть снимают их из подающего транспортера, при этом происходят случаи соударения комков почвы с винтовой поверхностью шнека. Комки почвы разрушаются, вся сыпучая почва и мелкие растительные примеси просеиваются в зазор между прутками подающего транспортера, а не просеянные – выносятся ним, проходя через зазор между витками шнека и рабочей ветвью подающего транспортера.

Принципиальным общим недостатком работы данного и технически реализованного типа комбинированного очистителя остается значительное количество почвенных и растительных примесей, при этом до 70 % от их общего количества составляет масса свободной и налипшей почвы, до 10 % - остатков ботвы на головках корнеплодов.

Повышение основных показателей качества работы комбинированных очистителей вороха корнеплодов и всей АКМ, решается применением базового варианта АТОКРО (рис. 4а).

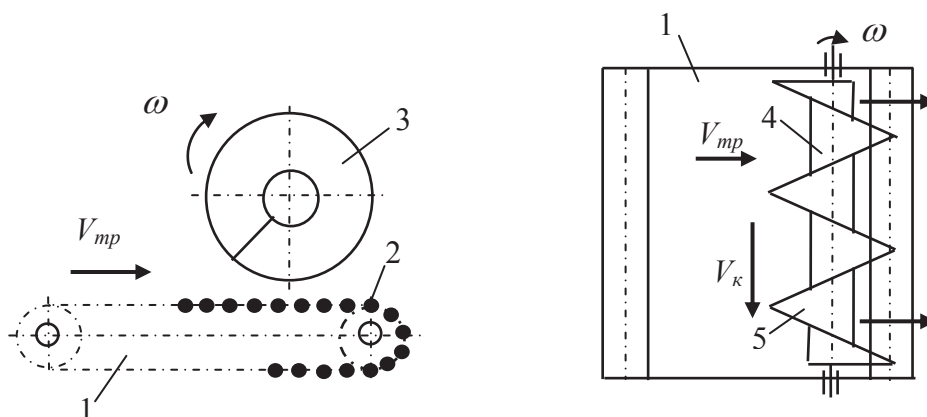


Рис. 3. Схема комбинированного очистителя
Fig. 3. The scheme of the combined cleaner

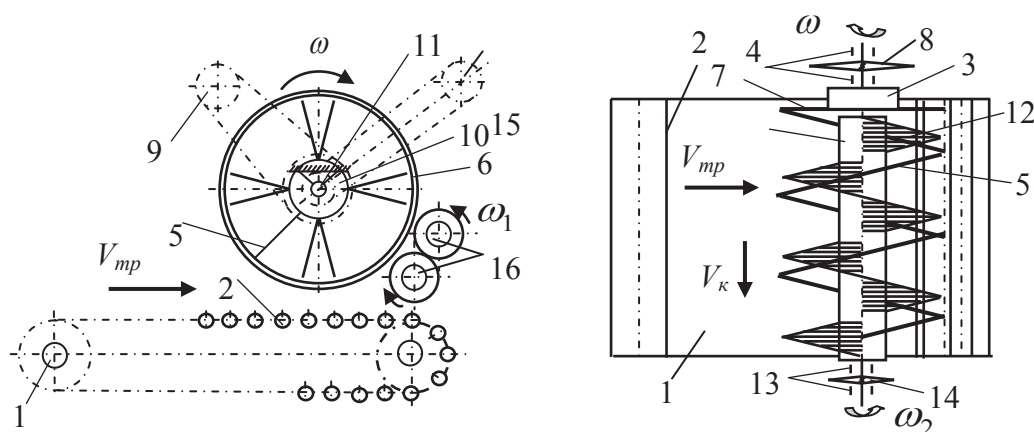


Рис. 4. Схема усовершенствованного базового АТОКРО
Fig. 4. Scheme advanced base ATCCYB

Базовый вариант АТОКРО характеризуется дополнительным установлением за шнеком 3, в сторону исходного конца горизонтального подающего транспортера 1 пары приводных цилиндрических отминочные вальцов 6, которые установлены друг над другом и над подающим транспортером на некотором расстоянии от прутиков 2 рабочей ветки. Отминочные вальцы вращаются навстречу один к другому с угловой скоростью ω_1 . Кроме того на трубе 4 шнека по винтовой линии смонтированы очистительные элементы относительно движения спиральных витков шнека.

Данный принцип очистки реализован на основе применения комбинированного очистителя вороха [20], который состоит из по-

дающего горизонтального пруткового транспортера 1 (рис. 3) и установленного с зазором над прутками 2 и перпендикулярно направлению скорости движения V_{mp} рабочей ветви горизонтального транспортера отводного шнека 3. Отводной шнек выполнен в виде трубы 4, на поверхности которой по винтовой линии установлены спиральные витки 5. Отводной шнек вращается встречно направлению движения подающего транспортера с угловой скоростью ω .

При подаче к шнеку вороха, составными компонентами которого являются корнеплоды с налипшей почвой и остатками ботвы на их головках и без них, свободные почве и растительные примеси происходит заполнение ворохом пространства между спираль-

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ АДАПТИРОВАННОЙ КОРНЕУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ

ными витками шнека и пространства между шнеком и рабочей ветвью подающего транспортера. Спиральные витки шнека, взаимодействуя с корнеплодами, передвигают их в сторону, то есть снимают их из подающего транспортера, при этом происходят случаи соударения комков почвы с винтовой поверхностью шнека. Комки почвы разрушаются, вся сыпучая почва и мелкие растительные примеси просеиваются в зазор между прутками подающего транспортера, а не просеянные – выносятся ним, проходя через зазор между витками шнека и рабочей ветвью подающего транспортера.

Принципиальным общим недостатком работы данного и технически реализованного типа комбинированного очистителя остается значительное количество почвенных и растительных примесей, при этом до 70 % от их общего количества составляет масса свободной и налипшей почвы, до 10 % - остатков ботвы на головках корнеплодов.

Повышение основных показателей качества работы комбинированных очистителей вороха корнеплодов и всей АКМ, решается применением базового варианта АТОКРО (рис. 4а).

Базовый вариант АТОКРО характеризуется дополнительным установлением за шнеком 3, в сторону исходного конца горизонтального подающего транспортера 1 пары приводных цилиндрических отминочных вальцов 6, которые установлены друг над другом и над подающим транспортером на некотором расстоянии от прутиков 2 рабочей ветки. Отминочные вальцы вращаются навстречу один к другому с угловой скоростью ω_1 . Кроме того на трубе 4 шнека по винтовой линии смонтированы очистительные элементы относительно движения спиральных витков шнека.

Таким образом происходит улучшение технологического процесса очистки корнеплодов от примесей, особенно отделения налипшей почвы на поверхности тела корнеплодов и остатков ботвы из их головок. Это достигается в первом случае путем динамического действия упругих очистительных элементов, которые смонтированы на трубе шнека на компоненты примесей вороха корнеплодов, а во втором случае - затягиванием

остатков ботвы между рабочие поверхности отминочных вальцов.

Повышение надежности работы АТОКРО и степени отделения остатков ботвы из головок корнеплодов достигаются за счет устранения технологических остановок во время попадания инородных тел в зазор между нижним отминочным вальцом и рабочей ветвью транспортера и увеличения силы контактного взаимодействия (прижатия) рабочих поверхностей отминочных вальцов.

В первом случае, отминочные вальцы 6 (рис. 4б) закреплены на верхнем 9 и нижнем 10 шарнирных рычагах, а их шарниры установлены на концах вала шнека и соосны с ним. Во втором случае поворот нижнего шарнирного рычага ограничен установленными упорами 11, а верхний отминочный валец за счет пружины 12 выполнен подпружиненным относительно нижнего отминочного вальца [22].

При попадании камней или твердых предметов между транспортером и нижним отминочным вальцом происходит одновременный поворот вверх отминочных вальцов на шарнирных рычагах, преодолевая сопротивление пружины. Зазор между нижним отминочным вальцом и рабочей веткой транспортера становится равным высоте инородных тел, которые свободно проходят через данный зазор и выносятся транспортером за пределы очистителя, а вальцы возвращаются в начальное положение, при этом нижний рычаг упирается в упор. Кроме того повышение технологической эффективности процесса отделения растительных примесей происходит за счет выполнения шнека 3 (рис. 4в) двухсекционным, при этом направление навивания спиральных витков 5 одной секции противоположно направлению навивания спиральных витков другой секции и направлены в сторону соответствующих исходных концов шнека. За каждой секцией двухсекционного шнека, в сторону исходного конца подающего транспортера 1, размещенная пара приводных отминочных вальцов 6, которые установлены консольно друг над другом и над подающим транспортером. Каждый приводной отминочный валец соответствующей пары выполнен в форме усеченного конуса, причем конусы расположены друг над другом, соответственно, большой и

малой основами [23].

Для интенсификации процесса отделения налипшей почвы из поверхности тела корнеплодов предложена усовершенствованная конструкция АТОКРО, конструктивная схема которой приведена на рис. 5 [24]. В отличие от базового АТОКРО (рис. 4а, б) приводной шнек 3 выполнен в виде пустотелого винтового цилиндра, который смонтирован консольно на опорах 4 шнека. Витками 5 шнека является навитая по винтовой линии труба 6 круглого сечения, которая закреплена сбоку опор шнека на фланце 7. Шнек вращается навстречу движению подающего транспортера с угловой скоростью ω за счет ведомой звездочки 8 привода 9 шнека. В полости пустотелого винтового цилиндра шнека размещен приводной очистительный вал 10, на трубе 11 которого по винтовой линии закреплены очистительные упругие элементы 12, причем очистительный вал смонтирован консольно на опорах 13, которые размещены с противоположной стороны консольных опор шнека. Очистительный вал с помощью ведомой звездочки 14 повода 15 очистительного вала вращается навстречу движению шнека с угловой скоростью ω_2 . За шнеком, аналогично предыдущим АТОКРО, установленная пара отминочных вальцов 16.

За счет выполнения отдельных приводов, соответственно, шнека и очистительного вала можно независимо друг от друга регулировать числовые значения угловых скоростей вращения шнека ω и очистительного вала ω_2 . Это дает возможность устанавливать независимо от угловой скорости вращения шнека необходимую угловую скорость вращения очистительного вала, что значительно повышает очистительный эффект отделения налипшей почвы на поверхности тела корнеплодов.

Таким образом, интенсификация технологического процесса очистки корнеплодов от примесей, особенно отделения налипшей почвы на поверхности тела корнеплодов, достигается путем динамического воздействия очистительных упругих элементов, которые смонтированы на трубе приводного очистительного вала на компоненты примесей вороха корнеплодов. Это достигается за счет установления необходимой угловой

скорости вращения приводного очистительного вала ω_2 при рациональном значении угловой скорости вращения шнека ω .

На основе проведенной идентификации (анализа и синтеза) аналогов предыдущих АВТОКРО и АТОКРО, нами предложены усовершенствованные конструкции АВТОКРО и АТОКРО, которые могут быть приняты за основной базовый вариант, соответственно, двухрядного АВТОКРО и АТОКРО проектируемой АКМ.

Они сочетают одновременно в себе все позитивные стороны и преимущества, относительно существующего однодискового сферического копателя (рис. 1) и комбинированного очистителя (рис. 3) и применяются в условиях чрезмерной влажности почвы и значительной засоренности поля.

Конструктивная схема двухрядного АВТОКРО приведена на рис. 5, вид сверху.

Двухрядный АВТОКРО состоит из установленных под углом α к соответствующей оси строки корнеплодов двух сферических дисков 1, которые свободно посажены на своих осях вращения 2. В передней зоне рабочей кромки каждого из дисков 1 установлен корненаправитель 3.

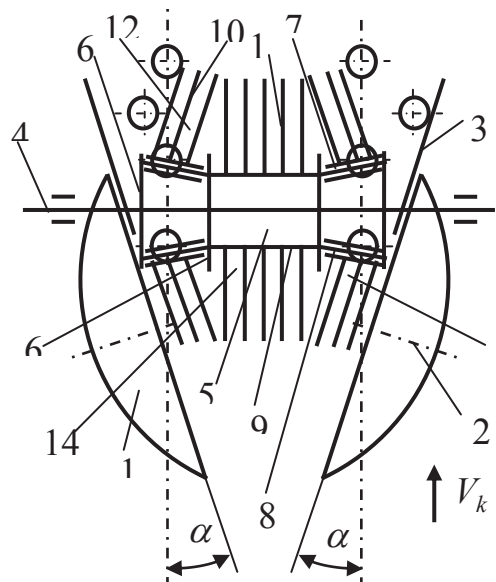


Рис. 5. Конструктивна схема дво-
рядного АВТОКРО АКМ
Fig. 5. Design concept of double row
ATCCYB RCAM

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ АДАПТИРОВАННОЙ КОРНЕУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ

Над дисками 1 перпендикулярно направлению рабочей скорости движения копателя V_k установлен горизонтальный приводной вал 4. Горизонтальный приводной вал содержит барабан 5, несущий фланцы 6.

Барабан горизонтального вала выполнен трехсекционным. Между фланцами барабана по его окружности установлены последовательно оси 7, 8, 9 на которых смонтированы плоские упругие лопасти 10, 11. Оси 7, 8 двух крайних секций 12, 13 барабана образуют усеченный конус, причем секции 12, 13 направлены друг к другу меньшими основаниями. Оси 9 средней секции 14 образуют цилиндр. Плоскости, которые проходят через оси 7, 9 или 8, 9 смежных секций 12, 14 или 13, 14 образуют между собой тупой угол [25].

Двухрядный АВТОКРО АКМ работает следующим образом.

Во время движения АВТОКРО АКМ, корненаправитель 3 смещает выбитые из рядка корнеплоды к его центру, а сферический диск 1 выкапывает корнеплоды. Одновременно с выкапыванием корнеплодов, за счет вращения горизонтального приводного вала 4, плоские упругие лопасти 10 двух крайних секций 12, 13 взаимодействуют с головками корнеплодов, при этом одновременно происходит очищение головок корнеплодов от остатков ботвы из двух смежных строк корнеплодов и разрушение комков почвы. Кроме того, плоские упругие элементы 11 средней секции 14 также одновременно взаимодействуют с корнеплодами и комками почвы. При этом происходит очищение поверхности тела корнеплодов от налипшей почвы и разрушения комков почвы с одновременным проталкиванием вороха, который находится в пространстве сферических дисков 1, что ускоряет его подачу на следующие технологические системы АКМ.

Таким образом, можно констатировать, что установление приводного вала со смонтированными на нем плоскими лопастями, позволяет одновременно с выкапыванием корнеплодов отделять остатки ботвы с головкой корнеплодов и уменьшать секундную подачу примесей за счет контактного взаимодействия плоских лопастей с компонентами вороха. При этом повышается технологи-

ческая надежность процесса выкапывания корнеплодов и, как следствие - производительность работы копателя и АКМ. Для снижения подачи почвенных примесей во время работы двухрядного АВТОКРО в условиях сухой и твердой почвы, на внешней стороне каждой плоской упругой лопасти 11 средней секции 14 устанавливаются подпружиненный прутки 15, который выполнен в виде двухсекционной пружины 16, которая жестко закреплена на каждой оси 9 средней секции 14 [26]. Одновременно с выкапыванием корнеплодов, за счет вращения горизонтального приводного вала 4, плоские упругие лопасти 10 двух крайних секций 12, 13 взаимодействуют с головками корнеплодов, а плоские упругие лопасти 11 средней секции - с выкопанными сферическими дисками 1 комками почвы. При этом одновременно происходит очищение головок корнеплодов от остатков ботвы из двух смежных строк корнеплодов и интенсивное разрушение комков почвы за счет ударного контакта внутренней стороны плоских упругих лопастей 11 с ними. Кроме того, плоские упругие лопасти средней секции одновременно с разрушением комков почвы проталкивают выкопанный сферическими дисками ворох, который находится в пространстве между ними, ускоряя его перемещение на следующие технологические системы АКМ. Для регулирования силы контакта плоских упругих лопастей 10 двух крайних секций 12, 13 с головкой корнеплодов во время их выкапывания, или обеспечения максимальной степени очистки остатков ботвы из головок корнеплодов и одновременного согласования компромисса относительно степени повреждения корнеплодов, которые не должны превышать предел согласно агротехническим требованиям, предложено устанавливать на внешней стороне каждой плоской упругой лопасти двух крайних секций 12, 13 трехсекционного барабана 5 подпружиненный прутки 17, который выполнен в виде двухсекционной пружины 18. Двухсекционная пружина жестко закреплена на каждой оси 7, 8 трехсекционного барабана. Сила контакта плоских лопастей двух крайних секций регулируется с помощью поворота каждой оси секций, которая приводит к изменению силы закручивания двухсекционной пружины и силы прижимания

подпружиненного прутка [27]. Таким образом, применение усовершенствованных конструкций АВТОКРО и АТОКРО способствует повышению показателей качества работы АКМ путем значительного уменьшения подачи примесей, особенно комков почвы и остатков ботвы на головках корнеплодов, налипшей почвы на боковой поверхности тела выкопанных корнеплодов за счет дополнительной интенсификации действия на ворох базовых структурных элементов копателя и очистителя.

Отличие конструктивных схем усовершенствованных АТОКРО относительно схем (рис. 4а, в, рис. 5) заключается в том, что шнеки 3 и отминочные вальцы 4 и шнек 3, отминочные вальцы 4 и приводной очистительный вал 5, которые размещены над прутками 2 горизонтального подающего транспортера 1 установлены под некоторым углом α к направлению скорости движения $V_{тр}$ рабочей ветви подающего транспортера [28, 29].

Таким образом, за счет установления шнека под острым углом α к направлению движения рабочей ветви подающего транспортера, происходит повышение технологической эффективности работы устройства за счет интенсификации процесса отделения примесей от корнеплодов путем увеличения пути перемещения примесей по рабочей ветви подающего транспортера, или времени пребывания примесей на рабочей ветви подающего транспортера.

ВЫВОДЫ

На основе проведенного анализа технологических процессов работы усовершенствованных выкапывающих и очистительных рабочих органов КМ можно констатировать, что идентификация процесса разработки АКМ должна базироваться на применении усовершенствованных АВТОКРО и АТОКРО, что позволит значительно повысить основные показатели качества работы АКМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pogoriliy M. 1999. Zakonomirnosti rozvitku buryakozbiralnoi tekhniki ta obgruntovannya ratsionalnikh obrisiv vitchiznyanikh mashin /

Maksim Pogoriliy // Tekhnika APK.–№3.– 8–12.

2. Gevko R.B. 1997. Vikopuvalno-ochisni pristroi buryakozbiralnikh mashin: konstruyuvannya i rozrakhunok / R.B. Gevko. – Ternopil. – 120.

3. Pogorelyy L.V. 2004. Sveklouborochnyye mashyny: istoriya, konstruktsiya, teoriya, prognoz / L.V. Pogorelyy, M.V. Tatyanko – K.: Feniks. – 232.

4. Baranovskiy V. 2006. Osnovni yetapi ta suchasni tendentsii rozvitku korenezbiralnikh mashin / Viktor Baranovskiy // Visnik Ternopilskogo derzh. tekhn. un-u. – Ternopil : TDTU. – Т. 11. – № 2. – 67–75.

5. Baranovskiy V.M. 2004. Konstruktivno-tekhnologichni printsipi zastosuvannya adaptivnogo vikopuvalnogo robochogo organu korenezbiralnoi mashini / V.M. Baranovskiy // Naukoviy visnik NAU. – Vip 73. – Chast 1. – 249–255.

6. Baranovskiy V.M. 2005. Konstruktivno-tekhnologichni printsipi adaptizatsii transportno-ochisnogo kombinovanogo robochogo organa korenezbiralnikh mashin / V.M. Baranovskiy // Silskogospodarski mashini. – Lutsk : LDTU. – Vip. 13. – 18–24.

7. Bulgakov V.M. 2009. Teoriya sveklouborochnykh mashin : Monografiya / V.M. Bulgakov, M.I. Chernovol, N.A. Sviren. – Kirovograd : "KOD". – 256.

8. Avanesov Yu.B. 1979. Sveklouborochnyye mashyny / Yu.B. Avanesov, V.I. Bessarabov, I.I. Rusanov. – M. – 351.

9. Analiz 2011. Analiz tendentsiy rozvitku robochikh organiv dlya separatsii vorokhu koreneplodiv / V.Yu. Ramsh, V.M. Baranovskiy, M.R. Pankiv [ta in.] // Naukovi notatki. – Lutsk : LNTU. – Vip. 31. – 298–305.

10. Baranovskiy V.M. 2004. Konstruktivno-tekhnologichni printsipi adaptovanogo zastosuvannya korenezbiralnikh mashin / V.M. Baranovskiy, M.R. Pankiv // Zb. nauk. prats mizhn. nauk.-prakt. konf. "Dinamika, mitsnist i nadiynist silskogospodarskikh mashin". – Ternopil : TDTU, 2004. – 192–198.

11. Suchasni 2004. Suchasni tendentsii rozvitku konstruktsii silskogospodarskikh mashin / Pid red. Kravchuka V.I., Gritsishina M.I., Kovalya S.M. – K.: Agrarna nauka. 353.

12. Kravchuk V.I. 2005. Teoretichni osnovi adaptatsii silskogospodarskikh mashin / V.I. Krav-

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА РАЗРАБОТКИ
АДАПТИРОВАННОЙ КОРНЕУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ

- chuk // Monografiya. – K.: NAU. – 208.
13. Baranovskiy V.M. 2003. Prognozovannaya kilkosti gruntu na poverkhni tila koreneploду / V.M. Baranovskiy, D.G. Voytyuk, Kropivko S.V [ta in.] // “MOTRO’L 03”, IV. – Lyublin-Kiev. – T. 6. – Vid. NAU. – 164–172.
14. Pankiv M. 2007. Analiz protsesu roboti doochisnikh pristroiv korenezbiralnikh mashin / Mariya Pankiv, Viktor Baranovskiy, Natalya Dubchak // Visnik Ternopil'skogo derzh. tekhn. un-u. – Ternopil : TDTU. – T. 12. – № 1. – 76–81.
15. Yamkov O.V. 2007. Obruntovannaya parametriv tekhnologichnogo protsesu i robochikh organiv buryakozbiralnogo agregatu z sistemnim traktorom : avtoref. dis. na zdobuttya nauk. stupennya kand. tekhn. nauk : spets. 05.05.11 “Mashini i zasobi mekhanizatsii sil'skogo-spodarskogo virobnitstva” / O.V. Yamkov. – K. – 20.
16. Pat. 1995. Pat. 7359 Ukraina MKI A 01 D 25/04. Pristriy dlya vikopuvannya koreneplodiv // Baranovskiy V.M., Gurchenko O.P., Zavgorodniy A.F., Bulgakov V.M.; zayavnik Ukrainskiy naukovo-doslidniy institut mekhanizatsii ta yelektrifikatsii sil'skogo gospodarstva. – A1 1672964; zayavl. 17.08.93; opubl. 29.09.1995. Byul. № 5.
17. Pat. 2006. Pat. 19526 Ukraina, MKI7 A 01 D 25/04. Pristriy dlya vikopuvannya koreneplodiv / Baranovskiy V.M., Pankiv M.R., Gerasimchuk G.A., Maranda S.A.; zayavnik i vlasnik Natsionalniy agarniy universitet. – № u 2006 07381; zayavl. 03.07.2006.; opubl. 15.12.2006. Byul. № 12.
18. Pat. 2009. Pat. 44747 Ukraina, MKI7 A 01 D 25/04. Pristriy dlya vikopuvannya koreneplodiv / Pankiv M.R., Baranovskiy V.M., Gerasimchuk G., Ramsh V.Yu.; zayavnik i vlasnik Ternopil'skiy derzhavniy tekhnichniy universitet. – № u 200905065; zayavl. 22.05.2009.; opubl. 12.10.2009. Byul. № 19.
19. Pat. 2011. Pat. 62598 Ukraina, MKI7 A 01 D 25/04. Pristriy dlya vikopuvannya koreneplodiv / Baranovskiy V.M., Pidgurskiy M.I., Pankiv M.R., Gerasimchuk G.A.; zayavnik i vlasnik Ternopil'skiy natsionalniy tekhnichniy universitet. – № u 201014801; zayavl. 10.12.2011.; opubl. 12.09.2011. Byul. № 17.
20. A.s. 1989. A.s. № 1523085 SSSR, MKI A 01D 33/08. Ustroystvo dlya otdeleniya primesey ot korneplodov / Gurchenko A.P., Baranovskiy V.N., Bulgakov V.M.; zayavitel Ukrainskiy nauchno-issledovatel'skiy institut mekhanizatsii i elektrifikatsii sel'skogo khozyaystva. – 4386472/30 - 15; zayavl. 29.02.88; opubl. 23.11.89. Byul. № 43.
21. A.s. 1990. A.s. № 1547752 SSSR, MKI A 01D 33/08. Ustroystvo dlya otdeleniya primesey ot korneplodov / Gurchenko A.P., Baranovskiy V.N., Zavgorodniy A.F., Bulgakov V.M.; zayavitel Ukrainskiy nauchno-issledovatel'skiy institut mekhanizatsii i elektrifikatsii sel'skogo khozyaystva. – 4369084/15; zayavl. 25.01.88; opubl. 07.03.90. Byul. № 9.
22. A.s. 1993. A.s. № 1806528 SSSR, MKI A 01D 33/08. Ustroystvo dlya otdeleniya primesey ot korneplodov / Gurchenko A.P., Baranovskiy V.N., Bulgakov V.M., Gurchenko L.A.; zayavitel Ukrainskiy nauchno-issledovatel'skiy institut mekhanizatsii i elektrifikatsii sel'skogo khozyaystva. – 4907206/15; zayavl. 01.02.91; opubl. 07.04.93. Byul. № 13.
23. Pat. 2012. Pat. 74629 Ukraina, MKI7 A 01 D 33/08. Pristriy dlya vidokremlyennya domishok vid koreneplodiv / Kravchenko I.E., Baranovskiy V.M., Pidgurskiy M.I., Pankiv M.R., Trukhanska O.O.; zayavnik i patentovlasnik Vinnitskiy natsionalniy agrarniy universitet. – № u 201103172; zayavl. 19.03.2012; opubl. 12.11.2012. Byul. № 21.
24. Pat. 2011. Pat. 64372 Ukraina, MKI7 A 01 D 33/08. Ochisnik vorokhu koreneplodiv / Baranovskiy V.M., Pidgurskiy M.I., Pankiv M.R., Dubchak N.A., Pankiv V.R.; zayavnik i patentovlasnik Ternopil'skiy natsionalniy tekhnichniy universitet. – № u 201103196; zayavl. 18.03.2011; opubl. 10.11.2011. Byul. № 21.
25. Pat. 2012. Pat. 66680 Ukraina, MKI7 A 01 D 25/04. Kombinovaniy kopach koreneplodiv / Baranovskiy V.M., Pidgurskiy M.I., Gerasimchuk G.A., Pankiv M.R.; zayavnik i vlasnik Ternopil'skiy natsionalniy tekhnichniy universitet. – № u 201108202; zayavl. 30.06.2011.; opubl. 10.01.2012. Byul. № 1.
26. Pat. 2012. Pat. 76009 Ukraina, MKI7 A 01 D 25/04. Kombinovaniy kopach koreneplodiv / Baranovskiy V.M., Pidgurskiy M.I., Gerasimchuk G.A., Pankiv M.R., Pankiv V.R.; zayavnik i vlasnik Ternopil'skiy natsionalniy tekhnichniy universitet. – № u 201205533; zayavl. 07.05.2012.; opubl. 25.12.2012. Byul. № 24.
27. Pat. 2013. Pat. 77568 Ukraina, MKI7 A 01 D 25/04. Kombinovaniy kopach koreneplodiv /

Kravchenko I.E., Baranovskiy V.M., Pidgurskiy M.I., Pankiv M.R., Trukhanska O.O.; zayavnik i vlasnik Vinnitskiy natsionalniy agrarniy universitet. – № u 201107310; zayavl. 15.06.2012.; opubl. 25.02.2013. Byul. № 4.

28. Pat. 2013. Pat. 77981 Ukraina, MKI7 A 01 D 33/08. Pristriy dlya vidokremlennya domishok vid koreneplodiv / Baranovskiy V.M., Pidgurskiy M.I., Trukhanska O.O., Pankiv M.R.; zayavnik i patentovlasnik Vinnitskiy natsionalniy agrarniy universitet. – № u 201207308; zayavl. 15.06.2012; opubl. 11.03.2013. Byul. № 5.

29. Pat. 2012. Pat. 74625 Ukraina, MKI7 A 01 D 33/08. Pristriy dlya vidokremlennya domishok vid koreneplodiv / Kravchenko I.E, Trukhanska O.O., Baranovskiy V.M., Pidgurskiy M.I., Pankiv M.R.; zayavnik i patentovlasnik Vinnitskiy natsionalniy agrarniy universitet. – № u 201203159; zayavl. 19.03.2012; opubl. 12.11.2012. Byul. № 21.

AUTHENTICATION OF DEVELOPMENT PROCESS ADAPTED ROOT OF HARVESTER

Summary. The stages of improvement, structure and principle of functioning of the adapted workings organs of the diggings up and cleansing transport technological systems, are resulted root of harvester which is intended for simultaneous collection of root crops of sugar, feed, table beet and carrot. On the basis of authentication of research (existent types of dig and purifiers to the lots of root crops) objects certainly basic ways and principles of development, or algorithm of construction, structurally layout chart adapted root of harvester.

Key words: lots, root crops, admixtures, transport-technological system, combined working organ, dig, purifier, adapted root harvester.

КОНСТРУКТИВНЫЙ МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ГОЛОГРАФИИ

Сергей Карабинёш

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15*

Sergey Karabinyosh

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. В статье приведены результаты исследований использования голографического метода обеспечения длительной и эффективной эксплуатации сельскохозяйственной техники при исправлении недостатков конструирования деталей машин.

Ключевые слова: сельскохозяйственная техника, деталь, лапа культиватора, голография, нагружение, голограмма, микродеформирование, неразрушающий контроль.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Анализ литературных источников [2, 5, 6, 13, 19], практический опыт показывают, что повысить до необходимого уровень надежности машин, в том числе и сельскохозяйственных, возможно при условии реализации контроля и диагностирования их технического состояния. Как известно, надежность техники закладывается на стадии конструирования, обеспечивается при изготовлении, поддерживается в эксплуатации и возобновляется при ремонте [1, 10, 11, 19].

Проведенные теоретические и предварительные экспериментальные исследования позволили выдвинуть гипотезу о возможности и необходимости обеспечения надежности машин с помощью тщательного стопроцентного контроля, как одного из главных двигателей научно-технического прогресса. Практика развития человеческого общества показывает, что без тщательного и повсеместного контроля за качеством изделий [3, 4, 7, 9 15] невозможно создать эффективную машину, которая долговечно служила бы на пользу человеку.

В современных условиях проблема повышения надежности сельскохозяйственных машин, их элементов разрешается путем поиска и создания новых материалов, элемен-

тов конструкций, использования компьютерных методов обработки информации, упрочнения рабочих поверхностей в таких комбинациях, которые раньше признавались практически невозможными или даже вредными [14, 18, 19], методов неразрушающего и разрушающего контроля в чем и состоит актуальность проведенных исследований.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Каждая конструкция на протяжении всего срока ее службы должна удовлетворять требованиям технической документации при условии отсутствия предельного деформирования и сопряженного с ним местного (локального) или общего разрушения [1, 3, 16]. Выход параметров деталей за установленные пределы, когда машина или ее элементы не соответствуют установленным нормам и определяются как предельное и недопустимое её техническое состояние. Для оценки возможности надежной работы машины нужно контролировать эти характеристики, особенно, значение величин допустимых параметров, их стохастических характеристик распределения параметров технического состояния, самое главное, вероятности безотказной работы.

Техническое состояние деталей определяется с одной стороны конструктивными параметрами, а с другой - механическими свойствами, которые определяют методами контроля в, том числе, и голографическими [17, 20]. Свойства рабочих поверхностей деталей из различных материалов отличаются сравнительно небольшими значениями рассеиваний показателей. Они соответствуют величинам и видам нагрузки, микродеформированию, продолжительности нагрузки и

могут быть представлены в достаточно узком интервале рассеивания [7, 12].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ

Целью работы является обоснование возможности реализации голографического метода для повышения надежности сельскохозяйственной техники при конструировании её элементов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В процессе проведения исследовательских работ было установлено, что голография позволяет с значительной чувствительностью получать результаты измерения величины микродеформации при высокой точности метода [20]. Методика исследований предполагала использование дифференциального метода определения качества конструкций путем сравнения базового или эталонного изделия с проектируемым [20]. Количественной оценкой служило сравнение полученных математических ожиданий и дисперсий распределения величин микродеформирования, полученных с голограмм при реализации программы „Оптокат”, качественной – структура рисунка. При этом, учитывали наличие аномальных проявлений расположения интерференционных полос.

О данных определениях свидетельствуют результаты экспериментальных исследований, которые характеризуются стабильностью картин компьютерных голограмм. Исследования были проведены с 25 кратной повторностью использования деталей и 10-ти кратной повторностью голографирования. Для проведения экспериментальных работ были использованы детали сельскохозяйственных машин, например: лапа стрельчатая культиватора КПС-4,0 (см. рис. 1). На компьютерных голограммах фиксировали практически однотипную картину (рис. 2), что дало возможность утверждать, данная деталь изготовлена без имеющихся дефектов и может эффективно эксплуатироваться на протяжении установленного ТД (технической документацией) периода времени.

За условием опыта, деталь (лапа культиватора) была изготовлена в соответствии с нормативами ТД согласно рабочих чертежей.

В процессе экспериментальных исследований, детали были нагружены механическим способом (сначала дифференцировано, потом комплексно), сжатие с закручиванием в соответствии с разработанной методикой. Такой вид нагрузки отвечает эксплуатационным условиям использования лап культиваторов. Для проведения исследовательских работ использованы: оптическая система „Оптимат”, разработанная в Гентском университете и улучшенная в Украине в Международном центре „Институт прикладной голографии”, лазер Lumonikс HLS - 2 с длиной волны 694 мкм. (Все оборудование прошло аттестацию в Европейском союзе).

На отсутствие повреждений и дефектов указывает характер картины на голограммы, т.е. – интерференционные полосы размещены без существенных аномалий. Наличие на каждой голограмме таких полос дает возможность определить величины микродеформации в каждой точке исследуемой детали. Величины микродеформации в таких точках на интерференционной полосе (изохоре) равны между собой. Для розширення оптических возможностей системы исследовать диффузионно отражать световое излучение лазера (большинство деталей сельскохозяйственной техники) был произведена замена линз 4 ($f_1 = -25$ мм; $d_1 = 55$ мм $\rightarrow f'_1 = -35$ мм; $d'_1 = 60$ мм), 5 ($f_2 = 150$ мм; $d_2 = 70$ мм $\rightarrow f'_2 = 200$ мм; $d'_2 = 90$ мм).

Это дает возможность качественно оценить техническое состояние поверхности детали и разработать математическую модель, которая позволяет адекватно реальным данным описать физический процесс микродеформирования. С другой стороны исследовали лапу культиватора, в которой параметры конструктивных элементов были изменены [9] специально так, чтобы не соответствовали требованиям конструкторской документации (носок был повернут принудительно во внутрь детали на 14°), что обосновано результатами исследований износов этих деталей и ошибок в проектировании. Таким образом, изначально были неправильно заданы детали конструктивные параметры. Полученная голограмма приведена на рис. 3.



Рис. 1. Лапа культиватора, восстановленная наплавкой
Fig. 1. Paw of cultivator, after renewal

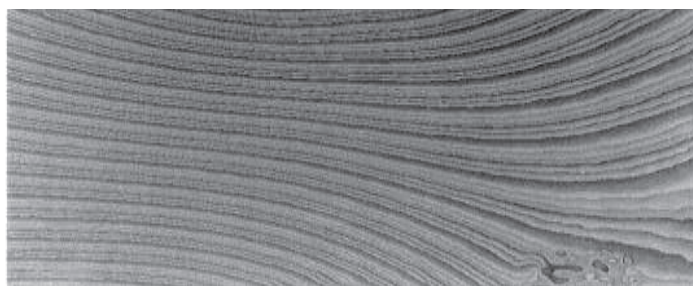


Рис. 2. Голограмма лапы культиватора, изготовленной согласно норм рабочих чертежей
Fig. 2. Hologram of paw of cultivator, made in obedience to the norms of the working drawings

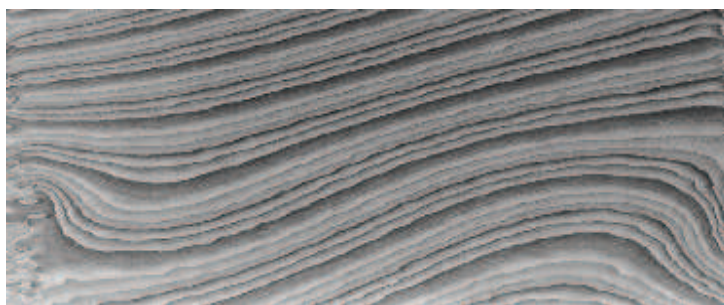


Рис. 3. Компьютерная голограмма лапы культиватора с неправильным конструкционным элементом
Fig. 3. Computer hologram of paw of cultivator with a wrong construction element

В этом случае, лапа культиватора также была нагружена механическим способом так, как в первом случае. Анализируя состояние голограмм приведенных на рисунках 2 и 3, возможно утверждать, что в первом случае имеем правильное соединение конструктивных элементов с правильно подобранными конструктивными материалами – величина математического ожидания микродеформи-

рования – 1,4 мкм, во втором – ошибочное, 2,5 мкм.

Как показали результаты эксплуатационных испытаний лапы, которые были изготовлены по технологии, отвечающей требованиям конструкторской документации (голограмма рис. 2) имеют долговечность на 13 - 15 %, а в некоторых случаях даже до 18 - 19,5 % выше, чем те, которые изготовлены с

нарушением норм конструирования. Следует заметить, что второго типа детали имели свои прочностные характеристики, которые практически отвечали требованиям стандартов, а наличие дефектов в зонах соединения было ограничено технологическим контролем на изготовление деталей.

Расчет дисперсии распределения стохастических величин микродеформирования проведен за суммарными значениями всей выборки из массива данных всех голограмм при механической нагрузке (сжатии) на примере лап культиваторов. Результаты стохастических исследований по подбору конструктивных элементов проектируемых или восстановленных деталей имеют большое значение в обеспечении надежности деталей. Показатели формы конструкции могут изменять свои значения в пределах одной поверхности и не должны превышать величины микродеформации 3,5 мкм.

В значительной степени на надежность всей конструкции или комплекта элементов влияет распределение показателей прочно-

сти, значения коэффициентов запаса прочности и распределение действительных деформаций поверхностей деталей под действием возможных нагрузок [20]. Значение параметров распределения этих величин необходимо учитывать прежде всего при выборе материала. Условиями надежности определено, что наступление предела допустимой нагрузки достигается путем пропорционального нагружения всей конструкции и достигается при величине микродеформирования для лап культиваторных 2,1–3,2 мкм. Предельное значение параметра микродеформации является функцией заданного допуска на остаточную деформацию конструкции и обычными методами трудно определяется.

Существенное влияние на зарождение дефектов в конструкциях, особенно сварочных, делают поля начальных напряжений, связанных непосредственно с правильным выбором материала и вида конструкции, без имеющихся концентраторов напряжений и другое.

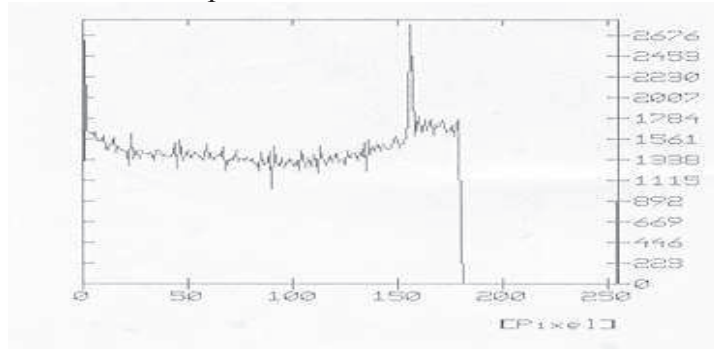


Рис. 4. Величины распределения дисперсии микродеформаций для лемехов (правильная форма)

Fig. 4. Sizes of distribution of dispersion of microstrains for ploughshares (regular shape)

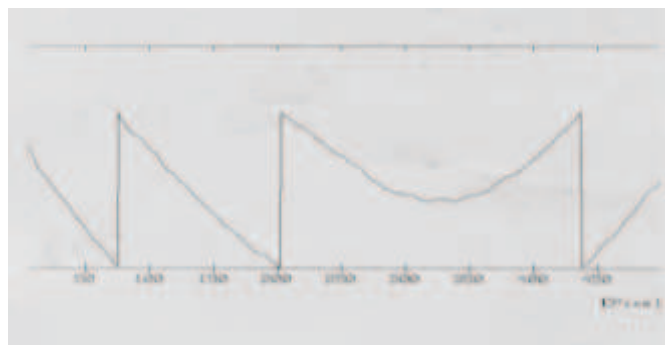


Рис. 5. Величины распределения математического ожидания микродеформаций для лап культиваторов (правильная форма)

Fig. 5. Sizes of distribution of the expected value of microstrains for the paws of cultivators (regular shape)

Представлены на рис. 4 и 5 величины распределения дисперсии и математического ожидания величин микродеформаций подтверждают правильность версии о выборе конструкции и материала для лап культиваторов – сталь 65 Г. Они в условиях природо-климатической зоны Украины имеют удовлетворительные показатели надежности и поддаются процессам упрочнения и создания условий самозатачивания. Для представленных голограмм рассчитаны математические модели, которые позволяют определить пределы допустимой эксплуатации данного вида деталей.

Анализ величин распределения стохастических характеристик лап культиваторов, которые были спроектированные с ошибками (см. рис. 6 и 7), показывает на значительное рассеивание в значениях математического ожидания, подтверждая неправильность выбранного решения.

В соответствии с разработанной методикой исследования деталей изготовленных из

разных материалов, например: чугуна (СЧ-18), алюминия (АЛ-9), полимеров (полиэтилен, полиамид), углепластик, а также армированный металлополимер, при этом, зафиксированны компьютерные голограммы в каждом случае. В исследованиях применяли всю гамму зафиксированных нагрузок

ВЫВОДЫ

Таким образом теоретические и экспериментальные исследования позволили установить, что голография, особенно компьютерная, является одним из эффективных методов определения конструктивных параметров, которые характеризуют надежность сельскохозяйственных машин. При этом, достижения величин микродеформирования выше предельных (например, для лап культиваторных 2,1–3,2 мкм) свидетельствует от том, что деталь исчерпала свой ресурс.

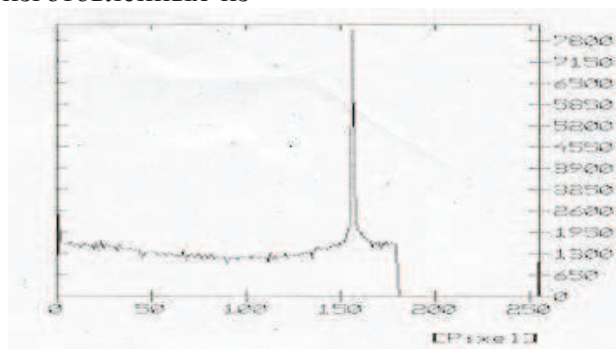


Рис. 6. Величины распределения дисперсии микродеформаций для лап культиваторов (ошибки в проектировании)

Fig. 6. Sizes of distribution of dispersion of microstrains for the paws of cultivators (errors are in planning)

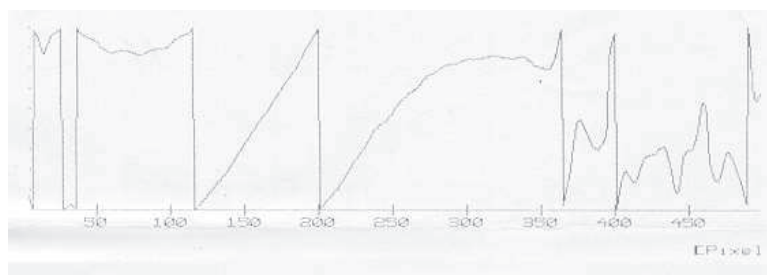


Рис. 7. Распределение величины математического ожидания микродеформаций для лап культиваторных (ошибки в проектировании)

Fig. 7. Distribution of size of the expected value of microstrains for paws of cultivator (errors are in planning)

Вопрос совершенствования и внедрения метода дефектации с помощью голографирования является важным в плане развития методов обеспечения надежности сельскохозяйственных машин, особенно, конструкторского. В то же время, как показали теоретические и экспериментальные исследования он является практически доступным для реализации на сельскохозяйственных предприятиях, особенно, ремонтных, где есть необходимость в проведении дефектации и установлении остаточного ресурса машин, которые были в эксплуатации, а проведения таких работ существующими методами являются недоступным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Barnett R.L., Vittsel V.I., Dyuks U.Kh. 1977: Razrusheniye: Rukovodstvo. V 7 t./ Per. s angl. T.4. Issledovaniye razrusheniya dlya inzhenerny rasschetov. – M.: Mashinostroyeniye. – 400.
2. Nadezhnost 1972: Nadezhnost i dolgovechnost mashin i oborudovaniya. / Pod red.. A.S. Pronikova – M.: Standart. – 406.
3. Nerazrushayushchiy 2005: Nerazrushayushchiy kontrol i diagnostika: Spravochnik./ Klyuyev V.V., Sosnin F.R., Kovalev A.V./Pod obshch. redakt. V.V. Klyuyeva V.V. – M.: Mashinostroyeniye. – 656.
4. Paton B.E., Lobanov L.M., Pivtorak V.A. 1996: Iz opyta IES im. Ye.O.Patona ispolzovaniya golograficheskoy diagnostiki kachestva elementov svarnykh konstruktsiy, kontroliruyemykh v usloviyakh kosmosa.// Kosmicheskaya nauka i tekhnologiya. – K.: T.2, № 1-2 – 12.
5. Rynkov R.N. 1995: Prognozirovaniye ustalostnogo resursa elementov izdeliy pri sluchaynom nagruzhении na osnove teorii informatsii // Nadezhnost i kontrol kachestva. – №8. – 20-28.
6. Anilevich V.Ya., Savchenko V.B. 1997: Statisticheskoye modelirovaniye obespecheniya nadezhnosti traktorov v ekspluatatsii. Sb. nauch. tr. KhGTUSKh. – Kharkov. – 11 - 15.
7. Betkher Kh., Epperlyayn I., Yeltsov A. 1992: Sovremennyye sistemy registratsii informatsii. – Sankt-Peterburg: Sintez. – 328.
8. Erf K. 1979: Golograficheskoye nerazrushayushchiye issledovaniya. /Trudged. s eng. – M.: Mashinostroyeniye. – 446.
9. Boyko A.I., Karabinosh S.S., Morgun A.V. 2003: Kompyuternaya golografiya kak metod obespecheniya nadezhnosti selskokhozyaystvennoy tekhniki: Kh-y Mezhdunarodnyy simpozium (Ekologicheskoye aspekty mekhanizatsii rasteniyevodstva). – Varshava, Melitopol: – 28-33.
10. Vennikov V.A. 2001: Osnovy teorii podobiya i modelirovaniya. – M.: Nauka. – 24.
11. Vorobyev S. P. 2004: Nekotoryye priyemy zapisi izobrazitelnykh gologramm impulsnym lazerom./ Materialy mezhdunarodnogo foruma „Golografiya EKSP0-2004”. – M.: – 49.
12. Gnedenko B.V. 2005: Kurs teorii veroyatnostey. – M.:Editorial URSS.– 448.
13. Guz A.N. 1983: Mekhanika khрупкого razrusheniya materialov s nachalnymi napryazheniyami. – K.: Naukova dumka.– 296.
14. Ermolov I.P., Ostanin Yu.Ya. 1988: Metody i sredstva nerazrushayushchego kontrolya. – M.: Mashinostroyeniye. – 218.
15. Lobanov L.M. 2002: Avtomaticheskyy analiz golograficheskikh interferogramm pri nerazrushayushchem kontrole kachestva materialov i elementov konstruktsiy // Avtomaticheskaya svarka.– №10.– 8-14.
16. Obraztsov V.S., Sitnik D.I. 1977: Opticheskaya golografiya i yeye primeneniya. – L.: Nauka. – 210.
17. Paton B.E., Lobanov L.M., Pivtorak V.A. 1996: Iz opyta IES im. Ye.O.Patona ispolzovaniya golograficheskoy diagnostiki kachestva elementov svarnykh konstruktsiy, kontroliruyemykh v usloviyakh kosmosa.// Kosmicheskaya nauka i tekhnologiya. – K.: T.2, № 1-2. – 12.
18. Boone R, Vanspeybroeck Rh., Karabinesh S.S. 1993: Brittle crack propagation in plastics pipes analyzed by holographic interferometry.– Brussels, Nondestructive testing and image processing, S.S. – Session 5 – 325-334.
19. Karabinesh S.S. 2001: Non-distractive control glue-weed joining by computer holography// 111 International Research And Technical Conference /S.Karabinesh // MOTOROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. Lublin: Vol. 4. – 144-147.
20. Karabinesh S.S. 2012: Structurally-technological methods providing of reliability of agricultural technique by computer holography.

/ S.Karabinesh// MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. Lublin. T.14 – №3.– 112-119.

**STRUCTURAL METHOD OF INCREASE
OF RELIABILITY OF AGRICULTURAL
TECHNIQUE DURING REALIZATION
OF HOLOGRAPHY**

Summary. There are the results over of researches of the use of holographic method of providing of the protracted and effective exploitation of agricultural technique are brought at the correction of lacks of constructing of details of machines in the article.

Key words: agricultural technique, detail, paw of cultivator, holography, ladening, hologram, microstrain, non-destructive control.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЗЕРНА ОТ КОМБАЙНОВ

Сергей Фрышев

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

Sergey Fryshev

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Получены экономико-математические (эконометрические) модели, позволяющие осуществить расчет и прогнозирование системных показателей для эффективных технологий уборки и транспортировки зерна. Разработана методика определения рекомендации по применению варианта эффективной перегрузочной технологии.

Ключевые слова: зерноуборочные комбайны, тракторные прицепы-перегрузчики, эффективность, модели, рекомендации.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Анализ традиционной технологии уборки и транспортировки зерна с применением прямых автомобильных перевозок от комбайнов указывает на наличие высоких затрат ресурсов, связанных прежде всего с простоями зерноуборочных комбайнов (ЗК) в ожидании разгрузки зерна из бункера, а также с простоями на загрузку транспортных средств.

Для сокращения указанных простоев разработана перегрузочная технология перевозки зерна, которая предусматривает применение уборочно-транспортного комплекса в составе: 1) ЗК, функционирующие как транспортно-технологические средства; 2) прицепы-перегрузчики (ПП) с тракторами, как межоперационные компенсаторы, 3) большегрузные автотранспортные средства (АТС). При существующем разнообразии технических средств особенно важной становится задача выбора наиболее эффективных и практически приемлемых технических комплексов, рекомендуемых новыми научными системно-аналитическими исследованиями. Поэтому проблема оптимизации процессов уборки и транспортировки зерна

от комбайнов, путем выявления закономерностей влияния структуры, состава, параметров технических средств комплекса, а также природо-производственных условий, направленных на минимизацию расходов ресурсов, является актуальной.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В последние 10-15 лет в нашей стране и в Российской Федерации (РФ) проведено ряд научно-исследовательских работ по изучению перегрузочной технологии с применением мобильных межоперационных компенсаторов: ПП и сменных кузовов. В работах А.Ю. Измайлова, Н.Е. Евтюшенкова, А.И. Бурьянова (РФ) [1] проведен анализ уборочно-транспортных процессов, главным образом с применением сменных кузовов и контейнеров, а в работе В.И. Кравчука и Л.В. Погорелого изложены данные результатов экспериментальных исследований работы ПП. Исследования, выполненные в НУ-БиП Украины и представленные в работах [2-4], направлены на обоснование структуры транспортно-технологических уборочно-транспортных комплексов с применением ПП и параметров отдельных машин. В тоже время важным вопросом является оптимизация эффективности технологий уборки и транспортировки зерна в зависимости от конкретной ситуации в хозяйстве с учетом многообразия влияющих на эффективность технических, технологических и природно-климатических факторов [5-20].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является повышение эффективности уборочно-транспортного про-

цесса путем определения рациональной структуры и состава комплекса машин.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Уборочно-транспортный процесс функционирует как динамическая система в заданных структурных и пространственно-временных пределах. Его исследование связано прежде всего с обоснованием характеристик, отражающих свойства и условия протекания процесса и составляющих его операций, их связи и изменчивость.

Проблема конструирования модели рассматриваемой логистической технологии как сложной системы и формулировка критериев ее эффективности нами решалась с помощью методологии системного анализа и в частности с использованием индуктивных технологий системных информационно-аналитических исследований и математического моделирования сложных систем.

Исходные данные системных информационно-аналитических исследований (количественные характеристики технико-эксплуатационных показателей машин уборочно-транспортного комплекса) для моделирования были получены в ходе полевых исследований (хронометража) во время сбора урожая зерна с использованием перегрузочной технологии в хозяйствах Николаевской, Киевской и Черниговской областей в 2010-2012 годах. В ходе исследований оценивался широкий спектр современной отечественной техники, техники стран СНГ и стран дальнего зарубежья. В ходе выполнения проекта синтеза гибких уборочно-транспортных технологических процессов (УТП) создан и применен первичный информационный базис (табл. 1), в который были включены и классифицированы по группам основные параметры.

На основании системного имитационного моделирования логистических схем с применением индуктивного подхода нами синтезированы эконометрические модели эффективных технологий транспортировки зерна от комбайнов к приемным пунктам. Такие модели наилучшим (оптимальным с позиций критерия точности аппроксимации) образом отражали связь исследуемых технологических процессов транспортировки зерна с

экономическими показателям при конкретных технологических, финансовых, природно-климатических, организационных и других условиях [5-6].

Критерием оптимальности и, соответственно выбора лучшего решения (технологического варианта), выбран интегральный показатель - совокупный уровень затрат того или иного варианта логистической технологии уборки и транспортировки зерна от комбайнов в гривнах на 1 тонну зерна – $E_{\text{пм}}$, грн./т.

Результатом работы являются следующие синтезированные модели М1 и М2. Модель М1, которая по мощности ансамбля информационных факторов, с одной стороны, и количеством вариантов технологических цепей, с другой, является мощной по объективным условиям формирования оптимального информационного базиса [5-6]. Эта модель представлена следующим образом:

$$E_{\text{тi}} = 362,266 - 6,456W_k + 1,042Q_n - 1,070Q_A - 0,545V_a + 4,451T_{\text{pa}} - 1,627U - 0,013S - 6,540T + 2,396L$$

где: W_k – производительность ЗК, т / ч; Q_n – грузоподъемность ПП, т; Q_A – грузоподъемность АТС, т; V_a – техническая скорость АТС, км / ч.; T_{pa} – продолжительность пребывания АТС на хлебоприемном пункте, ч; U – урожайность зерновых культур, т / га; S – площадь уборки зерновых культур, га; T – продолжительность работы ЗК в день, ч.; L – расстояние перевозки зерна от поля до хлебоприемного пункта, км.

Средняя ошибка аппроксимации модели М1 не превышала 9,7 в абсолютных величинах и 5,5% в относительных. Это указывает на высокий уровень адекватности данной модели. Такая модель может претендовать на свое место в компьютерном модуле реальной консалтинговой системы.

Модель М1, несмотря на свою сложность, наиболее приемлема для практического применения в отборе вариантов логистических технологий транспортировки зерна от комбайнов.

Основным отличием модели М2 от предыдущей модели, в том, что модель М2 отражает технологию прямых перевозок (без перегрузки). Очевидно, что совокупные затраты в такой технологии оказались более значимыми, чем в предыдущих вариантах с перегрузкой.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЗЕРНА
ОТ КОМБАЙНОВ

Таблица 1. – Первичный информационный базис

Table 1. – Primary information basis

Группа (№, назв.)	№ па- рам в группе	Условн. обозн.	Название параметра и единица измерения	Значение параметров определенных уровней		
				1	2	3
I. Зерноубо- рочный комбайн	1	W_k	номин. производе- тельность, т/ч.	7	12	17
	2	N_k	мощность двигателя, кВт	103	154	245
	3	C_k	стоимость комбайна, тыс. грн.	602,3 4	1076	1433
	4	V_k	объем / грузоподъем- ность зернового бун- кера (по пшенице) m^3/t	3/2,25	6/4,5	10,5
	5	$W_{шк}$	произв. выгрузного шнека, т/ч.	45	194	325
II. При- цеп- перегруз- чик и трактор	1	V_n	объем/грузоподъемн ПП, m^3/t	20/15	30/22,5	40/30
	2	C_{mn}	стоимость ПП, тыс. грн.	215	356	550
	3	$W_{шн}$	производительность вигрузн. шнека, т/ч	180	270	360
	4	N_{mn}	мощность двигателя трактора, кВт	90	150	190
	5	$C_{тр}$	стоимость трактора, тыс. грн.	768	1280	1621
III. Авто- мобильн. Т.З.	1	g_a	грузопдъемность ав- томобиля, т	15	22,5	30
	2	Q_n	нормативн расход то- плива, л/100 км	47	50	52
	3	C_a	стоимость автомоби- ля, тыс.грн.	604	760	804
	4	v_a	техническая скорость движения автомоби- ля, км/ч	30	40	50
	5		время розгрузки в приемном пункте	0,1	0,3	0,5
IV. При- родно- производ- ственные условия	1	$K_{пр}$	коэффициент слож- ности природно- про- изводств условий	1,0	0,9	0,8
	2	T_{agr}	агросрок (период уборки), дни	10	12	14
	3	U	урожайность, т/га	3	5	7
	4	S	площадь поля, га	500	1500	2500
	5	l	расстояние перевоз- ки, км	5	10	15

Модель M2 представлена следующим образом:

$$E_{ii} = 1022,615 + 23,320W_k - 11,964Q_a - 0,891V_a - \\ - 40,102T_{pa} - 59,761U - 0,274S + 14,590T + 12,662L$$

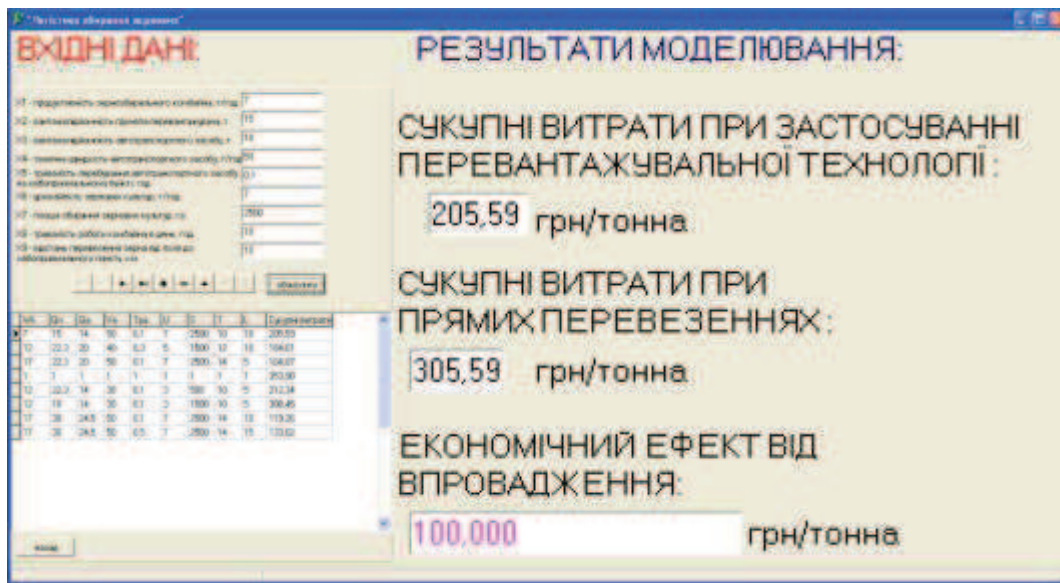


Рис. 1. Блок моделирования и визуализации результатов консалтинговой компьютерно-интегрированной системы совокупных затрат

Fig. 1. Block modeling and visualization of results of consulting computer-integrated system of total costs

Средняя погрешность аппроксимации модели M2 не превышала 9,8 в абсолютных величинах и 5,6% в относительных.

Блок моделирования и визуализации результатов консалтинговой компьютерно-интегрированной системы совокупных затрат с примером результата моделирования (для перегрузочной технологии и для прямых перевозок) представлен на рис. 1. Совокупные затраты для заданных в примере условий применительно к варианту перегрузочной технологии составили 205,59 грн./т, а для варианта прямых перевозок 305,59 грн/т. Экономический эффект от внедрения новой технологии в сравнении с прямыми перевозками определяется разницей рассчитанных затрат: 100 грн./т.

При использовании результатов исследований для определения варианта эффективной перегрузочной технологии во время уборки и перевозки зерна целесообразно выполнять следующую последовательность операций:

1) определение совокупных расходов для трех технико-технологических вариантов с последовательным применением групп машин соответствующих трех уровней первичного информационного базиса в проекте

синтеза гибких технологических процессов (табл. 1) с применением модели M1;

2) стоимостный анализ совокупных расходов и выбор варианта с наименьшими затратами;

3) в соответствии с выбранным уровнем параметров машин подбирается несколько конкретных комплексов машин. Для этих комплексов машин выполняется с помощью моделирования (M1) сравнительный анализ совокупных расходов и затем делается выбор конкретного варианта с наименьшими затратами;

4) аналогично с перечисленными п.п. 1-3 определяется комплекс машин с минимальными совокупными затратами для прямых перевозок зерна с поля - моделирование с использованием модели M2;

5) определяется сравнительный экономический эффект от применения перегрузочной технологии как разница совокупных расходов для технологических вариантов, которые сравниваются;

6) на основании полученных данных формируются рекомендации.

ВЫВОДЫ

1. На основе анализа уборочно-транспортного процесса как сложной системы, разработаны экономико-математические (эконометрические) модели, позволяющие осуществить расчет и прогнозирование системных показателей, а также синтез и оптимизацию транспортных цепей.

2. Разработана методика определения варианта эффективной перегрузочной технологии для уборки и перевозки зерна от ЗК, позволяющая оптимизировать состав комплекса машин и минимизировать совокупные затраты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Izmaylov A. Yu. 2007: Tekhnologii i tekhnicheskiye resheniya po povysheniyu effektivnosti transportnykh sistem APK. /A.Yu. Izmaylov // Tekhnologii i tekhnicheskiye resheniya po povysheniyu effektivnosti transportnykh sistem APK. – М. FGNU «Rosinformagrotekh». – 200.

2. Frishev S.G. 2009: Metodika rozrakhunku pa-parametriv suchasnogo zbiralno-transportnogo protsesu zerna /S.G. Frishev, S.I. Kozupitsya //Naukoviy visnik NUBiP Ukraini. – K., Vip.134 ch.2. – 103-110.

3. Frishev S.G. 2011: Vznachennya ratsionalnikh parametriv tekhnologichnogo lantsyuga “ze-rnovi kombayni – prichepiperevantazhuvachi – avtomobilni transportni zasobi” / S.G. Frishev, S.I. Kozupitsya // Visnik NUBiP Ukraini. – K.: – Vip. 166 ch. 3. – 203 – 211.

4. Frishev S.G. 2010: Analiz transportno-virobnichogo protsesu pid chas zbirannya zerna / S.G. Frishev, S.I. Kozupitsya // Visnik Khar'kivskogo navchalnogo tekhnichnogo universitetu. – Vip. 12 (t. 24). – 56– 61.

5. Osipenko V.V. 2012: Sistemno-analitichniy pidkhid do sintezu logistichnikh protsesiv zbirannya ta transportuvannya zerna / V.V. Osipenko, S.G. Frishev, S.I. Kozupitsya, // Visnik NUBiP Ukraini. – Vip. 170.ch.2 – 220-230.

6. Osipenko V.V. 2012: Konsaltingova pidtrimka yefektivnikh tekhnologiy transportuvannya zerna v kolektivnikh gospodarstvakh u zernozbiralniy period / V.V. Osipenko, S.G.

Frishev, S.I. Kozupitsya, M.V. Senchev// Visnik NUBiP Ukraini. – Vip. 170.ch.2 – 214-222.

7. Szeptycki A. 2003: Prognoza wyposazenia polskiego rolnictwa w ciagniki, kombajny i samochody / A. Szeptycki, Z. Wójcicki // Motrol. Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. – Т. 5. – Lublin. – 184 - 191.

8. Shkarivskiy G. 2007: Prospects of agregating self-propelled chassis // G. Shkarivskiy, S. Pogorilyy // Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Т. 9А. – Lublin. – 194 - 201.

9. Tipovaya 1976: Tipovaya metodika optimizatsii odnomernogo parametricheskogo (tiporazmernogo) ryada / Nauch. rukovodit. Tkachenko V.V. – М.: Izd-vo standartov, – 64.

10. Trepnenkov I.I. 1963: Ekspluatatsionnyye pokazateli selskokhozyaystvennykh traktorov / I.I. Trepnenkov. – М.: Metallurgizdat. – 271.

11. Fogel A.A. 1991: Tiporazmernyy ryad moshchnykh promyshlennykh traktorov / A.A. Fogel, V.S. Zakharov // Traktory i selskokhozyaystvenny mashiny, № 3. – 9-11.

12. Ksenevich I.P. 1990: Ratsionalnyy tiporazmernyy ryad perspektivnykh selskokhozyaystvennykh traktorov / I.P. Ksenevich, M.I. Lyasko, V.N. Minizon, A.P. Parfenov // Traktory i selskokhozyaystvenny mashiny, № 11. – 4-7.

13. Antyshev N.M. 1993: Prognoz potrebnosti i neobkhodimost struktury traktornogo parka / N.M. Antyshev // Traktory i selskokhozyaystvenny mashiny, № 8. – 1-6.

14. Samsonov V.A. 1998: Obosnovaniye tiporazmernogo ryada traktorov s adaptiruyemy parametrami / V.A. Samsonov, A.A. Zangiyev // Tekhnika v selskom khozyaystve. № 4. – 24-28.

15. Zangiyev A.A. 1999: Obosnovaniye parametrov Semeystvo mobilnykh energeticheskoy platezhi odnogo tyagovogo klassa / A.A. Zangiyev, N.I. Bychkov // Tekhnika v selskom khozyaystve. – № 3. – 3-5.

16. Rossiyskiy 2004: Rossiyskiy traktor: realnost i perspektivy. Po materialam press-sluzhby OAO «Agromashkholding» // Traktory i selskokhozyaystvenny mashiny. № 5. – 2-9.

17. Butova P. 2001: Klassifikatsiya energosredstv po tekhniko-ekonomicheskogo parametrov / P. Butova, P. Nazarov, A. Zatsarinnyy // Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva. № 7. – 6-8.

18. Shkarivskiy G.V. 2005: Obgruntuvannya rivniv potuzhnosti dviguniv mobilnikh yenergetichnikh zasobiv / G.V. Shkarivskiy, S.P. Pozhidaev // Naukovo-teoretichniy zhurnal Ukrainskoi akademii agrarnikh nauk "Visnik agrarnoi nauki". – №9. – 48-51.
19. Shkarivskiy G.V. 2006: Obruntuvannya rivniv potuzhnosti dviguniv mobilnikh yenergetichnikh zasobiv silskogospodarskogo priznachennya isnuyuchikh tyagovikh klasiv / G.V. Shkarivskiy // Mizhvidomchiy tematichniy naukoviy zbirnik "Mekhanizatsiya ta yelektifikatsiya silskogo gospodarstva". Vipusk 90. – Glevakha, NNTs "IMESG". – 98-107.
20. Shkarivskiy G.V. 2010: Obruntuvannya pereliku golovnikh parametriv tiporozmirnogo ryadu mobilnikh yenergetichnikh zasobiv / G.V. Shkarivskiy // Visnik Kharkivskogo natsionalnogo tekhnichnogo universitetu silskogo gospodarstva im. Petra Vasilenka. – Kharkiv: FOP Chernyak V.Є. – Vip. 93. – T.1. – 302-309.

EFFECTIVE USING OF TECHNOLOGY TRANSPORTING GRAIN FROM COMBINE

Summary. Obtained mathematical economics (econometric) models to make calculation and prediction of system performance for effective cleaning technology and transportation of grain. The technique of determining recommendations for use of technology overload effective option.

Key words: combine harvesters, tractor overload trailers, efficiency, models, recommendations.

ВЛИЯНИЕ РЫНКА ТРУДА НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОГРАММ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО СЕКТОРА ЭКОНОМИКИ

Оксана Зазимко, Лариса Клийх

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15*

Oksana Zazymko, Larysa Klyh

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. В статье проанализировано влияние рынка труда на формирование магистерских программ подготовки специалистов (магистров) для инженерно-технического обеспечения агропромышленного сектора экономики. Значительное внимание уделяется основным факторам качества учебного процесса подготовки специалистов (магистров) для инженерно-технического обеспечения агропромышленного сектора экономики.

Ключевые слова: рынок труда, инженерно-техническое обеспечение, агропромышленный сектор экономики, качество предоставления образовательных услуг.

Исторически сложилось, что аграрный сектор является одним из ключевых отраслей экономики Украины. Даже в самые сложные периоды развития нашего государства эта отрасль практически полностью обеспечивала платежеспособный спрос украинского на продовольственные товары. Сейчас уникальные возможности для стремительного ее развития обусловлены также мировой тенденцией роста цен на продовольственную продукцию [2,3].

Доля сельского хозяйства в экономических показателях страны по общепринятым макроэкономическими показателями достаточно высока.

В частности здесь сосредоточено более 19% трудовых ресурсов, 71,2% земельного фонда и 92% сельскохозяйственных угодий и 5,6% основных средств. От уровня экономического и социального развития сельского хозяйства в значительной степени зависит экономика страны в целом, поскольку именно в этой сфере материального производства в 2005 году создано 11% валовой добавлен-

ной стоимости, вместе с пищевой промышленностью - более 60% общегосударственного фонда потребления и 12,4% положительного сальдо внешнеторгового оборота Украины (21,7 млрд. грн). Украина способна полностью удовлетворять внутренние потребности в сельскохозяйственной продукции благодаря собственному производству. При стабилизации и роста производства она все реальные возможности стать экспортером сельскохозяйственной продукции [1].

Особую роль и место сельского хозяйства в экономике Украины определяют следующие неоспоримые факты:

- сельское хозяйство определяет развитие перерабатывающих отраслей, где быстро осуществляется обращение средств, напрямую влияет на накопление и инвестиционный процесс;

- агропромышленное производство относится к главным сферам, обеспечивающих объемы ВВП. Общеизвестно, что при нормальных условиях хозяйствования 1% роста производства сельскохозяйственной продукции обеспечивает 3 - 4% роста ВВП;

- наращивание экспортных возможностей агропромышленного производства является гарантией быстрого и надежного преодоления дефицита торгового и платежного балансов страны;

- от всестороннего развития агропромышленного комплекса во многом зависит рост жизненного уровня всего населения;

- обеспечение стабильного развития собственного агропромышленного производства является надежным залогом экономической независимости государства [4].

Итак, сельское хозяйство для Украины - не просто один из секторов экономики, а первоисточник экономического роста.

Современные мировые тенденции неутешительны - изменения климата и продовольственный кризис, которые подталкивают к активному применению в сельскохозяйственном производстве биотехнологий, генной инженерии, нетрадиционных видов топлива. Такое положение вещей требует решительных действий, направленных на изучение и применение новейших технологий в аграрном секторе экономики Украины, и особенно в ее инженерно-техническому обеспечению растениеводства, животноводства, энергоснабжения области и т.д. [12,20].

Современные инновации в растениеводстве и животноводстве базируются на создании и безопасном применении научно обоснованных биотехнологий получения высокопродуктивных сортов растений и пород животных, устойчивых к действию болезней и неблагоприятных факторов окружающей среды. Для снижения себестоимости продукции крайне необходимо внедрение новых ресурсо- и энергосберегающих технологий с применением возобновляемых видов энергии - ветровой, солнечной и других. Особенно эффективно использование биогазовых установок, которые дают возможность не только удешевить производство сельскохозяйственной продукции, но и интенсивно перерабатывать отходы производства и получать экологически безопасные высокоэффективные органические удобрения. Развитие таких технологий повысит эффективность использования ресурсного и инвестиционного потенциала земель как жизненной среды и основного средства производства [10].

Именно поэтому первоочередной задачей, которая стоит перед аграрным образованием и наукой является качественная подготовка конкурентоспособного для рынка труда специалиста – инженерно-технического работника [6]. Сейчас аграрное производство требует специалиста, обладающего передовыми, инновационными технологиями, и, вместе с тем, осознает ответственность за последствия своей профессиональной деятельности. Высшие учебные заведения сейчас должны с опережением обеспечивать требования рынка труда.

Вопросу организации подготовки специалистов для инженерно-технического обеспечения аграрного сектора экономики в высших учебных заведениях Европы, США, развитых стран Азии уделяют много внимания как зарубежные, так и отечественные исследователи. Среди них Я. Гречко, Ж. Точенко, И. Беганский, Н. Садовская, А. Косинский, Т. Дмоховский, В. Манько, Т. Ищенко, М. Хоменко, Н. Журавская, О. Вощевскому. Анализ имеющихся исследований показывает, что проблема организации подготовки специалистов для инженерно-технического обеспечения агропромышленного сектора экономики требует дальнейшего изучения. Для реализации эффективных преобразований необходимо формирование целого спектра квалифицированных специалистов, способных обеспечить развитие и внедрение в аграрном секторе новых технологий производства, переработки, хранения, транспортировки и реализации качественной, экологически чистой продукции (табл. 1).

Для разностороннего сопровождения современных технологических процессов производства, переработки, транспортировки и реализации качественной сельскохозяйственной продукции в исследовательских университетах должен реализоваться целый спектр специальностей подготовки магистров. Подготовка таких специалистов дает новый импульс в развитии направлений получения и переработки экологически чистой продукции за счет использования современных технологий в земледелии, современных высокотехнологичных животноводческих ферм, птицефабрик, тепличного хозяйства и т.д. Развитие этих специальностей позволяет университету шагать в ногу со временем, привлекать в учебный процесс современные высокие технологии, новые приборы и оборудование, существенно повышает качество научных исследований [14].

Политика государства должна опираться на рекомендации ученых, в том числе и в аграрной отрасли, чтобы не допустить непопулярности и провалов. Проблема технического обеспечения сельского хозяйства остается актуальной.

**ВЛИЯНИЕ РЫНКА ТРУДА НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОГРАММ ПОДГОТОВКИ
СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
АГРОПРОМЫШЛЕННОГО СЕКТОРА ЭКОНОМИКИ**

Таблица 1. Перечень групп специальностей, которые необходимы для инженерно-технического обеспечения аграрного сектора экономики

Table 1. List of groups of professions that are necessary for engineering and technical support of agricultural sector

Группы специальностей	Специальность
Техника и энергетика аграрного производства	- энергетика сельскохозяйственного производства; - электротехнические системы и технологии в агропромышленном производстве; - электрификация и автоматизация сельского хозяйства; - энергетический менеджмент и аудит в агропромышленном производстве, - процессы, машины и оборудование агропромышленных предприятий, - транспортные технологии и средства в комплексе, - механизация сельского хозяйства.
Транспортировка изготовленной продукции	- организация перевозок и управление на транспорте, - транспортные технологии и средства в агропромышленном комплексе

Важная роль в этом процессе отводится и созданным в Украине в период с 2008 по 2010 гг. исследовательским университетам, основной задачей которых является сочетание образовательной, научной и инновационной составляющей с целью формирования специалистов нового поколения [13].

Новый этап в развитии аграрной науки связан с реформой образования, присоединением к Болонской конвенции, что, с одной стороны, приближает Украину к мировым стандартам в сфере образования, а с другой - требует существенных изменений в существующей системе аграрных вузов [3,8].

Сейчас в Украине созданы условия для интеграционных процессов в сфере высшего образования европейских стран. Украина была и является активным участником этих процессов. Избранные пути модернизации высшего образования Украины аналогичные общеевропейским подходам, а принципы Болонской декларации активно внедряются в учебный процесс исследовательских вузов [17,18].

Основной задачей на ближайший период развития обозначены реализацию предусмотренной Болонской декларацией системы академических кредитов, аналогичной Европейской кредитно-трансферной системе

(ECTS). Именно ее рассматривают как средство повышения мобильности студентов при переходе с одной учебной программы на другую, в том числе программы последипломного образования. ECTS становится многоцелевым инструментом признания и мобильности, средством реформирования учебных программ, а также способствует передаче кредитов высшим учебным заведениям других стран. Важный момент введения аккумулирующие кредитной системы - возможность учитывать все достижения студента, а не только учебную нагрузку, например, участие в научных исследованиях, конференциях, предметных олимпиадах и т.д. [14].

Определение содержательных модулей обучения по каждой дисциплине, согласование кредитных систем оценивания достижений студента должны стать основой для решения еще одной, задекларированной в г. Болонья цели - создание условий для свободного перемещения студентов, преподавателей, менеджеров образования и исследователей территориями Европы. Обязательным считается также наличие внутренних и внешних государственных и общественных систем контроля качества образования [1,7,9].

Всего определяющими критериями образования в рамках Болонского процесса являются:

- качество подготовки специалистов;
- соответствие европейскому рынку труда;
- укрепление доверия между субъектами образования;
- мобильность;
- совместимость квалификации на университетском и последипломном этапах подготовки;
- усиление конкурентоспособности украинского образования.

В связи с вышеизложенным, можно выделить ряд вопросов, которые затрудняют достижение задач, поставленных перед высшей аграрным образованием Украины, а именно:

- ограниченное по сравнению с ведущими европейскими и мировыми университетами исследовательского типа, финансирование образования и науки, что приводит к ухудшению состояния материально-технической базы учебных заведений и их социальной инфраструктуры и тормозит внедрение современных инновационных технологий и средств обучения;
- нарушение партнерских связей предприятий и организаций с учебными заведениями. Работодатели пока не принимают активного участия в формировании содержания образования и обеспечении надлежащей профессионально-практической подготовки молодежи.

Важные компоненты повышения качества аграрного образования отражено на схеме (рис. 1). Повышение качества высшего аграрного образования невозможно также без повышения качества и конкурентоспособности выпускников путем внедрения новейших педагогических и информационных технологий в учебном процессе вуза, а также согласования потребностей рынка образовательных услуг и рынка труда, что влечет обеспечения трудоустройства выпускников аграрных специальностей высших учебных заведений [21].

После присоединения Украины (2005 г.) к Болонскому процессу, высшее образование на всех уровнях активно привлекается к реализации его требований. Целью этого объединения является создание Европейского пространства высшего образования. Основными принципами, которые обуславливают развитие высшего образования Украины в рамках Болонского процесса, является создание инновационного пространства на основе образовательной и научной поддержки, адаптация к нормам, стандартам и основным принципам Европейского пространства высшего образования и обеспечение социального контекста, который позволит выпускникам вузов формировать свою профессиональную карьеру на основе социальной справедливости, ответственности и общечеловеческих ценностей [19].



Рис. 1. Пути повышения качества аграрного образования
Fig. 1. Ways to improve the quality of agricultural education

ВЛИЯНИЕ РЫНКА ТРУДА НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОГРАММ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО СЕКТОРА ЭКОНОМИКИ

Участие Украины в Болонском процессе требует системной реорганизации национального пространства высшего образования с акцентированием внимания на проблемных стратегических направлениях. На данном этапе основные усилия следует сконцентрировать на реализации углубление социально-го партнерства вузов с работодателями, гражданами и социальными объединениями и вовлечения их в процесс выработки и принятия решений по проблемам высшего образования. Это связано с тем, что Украина, постепенно выходя из кризиса, требует существенных изменений в организации рынка труда и взаимодействия его ключевых участников - студента, работодателя и вуза. На первые места инновационного развития выходят такие понятия как: умение, квалификация, компетентность, качество образования, результаты обучения [18].

В этом контексте измерением качества продукции высшего образования как сектора национальной экономики становится человеческий капитал. В обществе в целом и, в частности, в высокотехнологичных секторах экономики растет спрос на высококвалифицированных специалистов-универсалов, которые имеют не только специализированную профессиональную подготовку, но и успешно овладели навыками инновационной, предпринимательской и управленческой деятельности, максимально используют индивидуальные способности. В условиях растущей конкуренции, экономика нуждается в большом количестве высококвалифицированных специалистов, поэтому на рынке образовательных услуг появляется новый игрок - работодатель. Однако большинство компаний пока не рассчитывает, что полученное образование в отечественных вузах позволит молодому специалисту сразу приступить к работе. Полученные в вузе знания воспринимают как отправную точку для дальнейшего обучения молодого специалиста. Особой критике со стороны компаний подвергаются практические навыки выпускников, не соответствующих условиям рынка. Сегодня выпускники вузов к практической работе не готовы. Они, возможно, хорошо

знают теорию, но не представляют себе реальных задач, которые их ждут на предприятиях. Для Украины стало нормой, что большинство выпускников вузов работают не по той специальности, которая обозначена в их дипломе. В то же время работодатели сетуют, что на отдельные вакансии они не могут найти специалистов даже в условиях кризиса. Вузы должны принять как данность тот факт, что подготовить специалиста означает не только снабдить его массивом информации, но и дать ему профессиональные инструменты для решения конкретных задач [16].

Задача высшей школы как социального института заключается в том, чтобы понять, чего ждет работодатель от молодого специалиста и что нужно сделать, чтобы уровень его подготовки отвечал требованиям рынка труда, т.е. способствовать профессиональной самореализации индивида, обучая его профессионально направленной взаимодействия с окружающей природной и социальной средой [7,15].

Исследованием вопросов сотрудничества между вузами, работодателями и выпускниками занимаются Э. Власенко, А. Горбунов, П. Куликов, Н. Мельник, Е. Рысин, R. Brandstetter и др. Вместе с тем недостаточно проанализированы имеющийся опыт повышения качества профессионального образования путем налаживания сотрудничества вузов с работодателями.

В области обучения основным фактором, стимулирующим изменения, становится стремительный рост потока информации. Этот рост происходит такими темпами, что традиционные методы и сама система обучения уже не может с ним справиться. При таких темпах изменений обновления знаний происходит настолько быстро, что к концу обучения в университете знания успевают устареть. Возникает необходимость постоянного обновления профессиональных знаний - то есть непрерывного обучения в течение всей жизни. Уже недостаточно передать студентам определенный объем знаний, гораздо важнее стало научить искать и анализировать необходимую информацию, то есть

научить самому процессу получения знаний [5]. Наряду с этим вопросом стоит проблема сочетания и стремительного развития так называемого «золотого треугольника знаний» - образования, инноваций и исследований как движущего толчка повышения конкурентоспособности экономики в целом, так и необходимого элемента для качественного развития образования и науки в стране. Понятие «инновация» должно быть распространено на все типы нетехнологичных инноваций, в том числе «социальные инновации», с целью повышения объема «социального (человеческого) капитала», который имеет важное значение для конкурентоспособности и социальной сплоченности [6].

Подготовить качественный «социальный капитал» под силу только вместе партнерам, которые наделены общей целью - работодателям и вузов. Такое партнерство является важным для обеих сторон, поскольку оно позволяет повысить эффективность проектов, одновременно сократив расход ресурсов на их реализацию. Партнерство в данном случае следует рассматривать как добровольное согласие на сотрудничество между двумя или более организациями, при котором предприятия и физические лица соглашаются на сотрудничество для достижения общей цели или выполнения отдельной задачи и готовы разделить риски, ресурсы и прибыль [11].

Для достижения общей цели - подготовки высококвалифицированных специалистов, которые будут конкурентоспособными на национальном, европейском и мировом рынках труда крайне необходимо модернизировать как само высшее образование так и его отношения с работодателями. Среди неотложных задач системы высшего образования Украины:

- модернизация системы и структуры квалификаций согласно требованиям рынка труда;
- совершенствование содержания высшего образования и организации учебного процесса согласно требованиям работодателей;
- международное признание документов о высшем образовании для улучшения уровня трудоустройства специалистов и т.п..

Еще одной важной задачей для ВУЗов является создание и активизация работы

центров трудоустройства. Их цель - способствовать студентам и выпускникам в трудоустройстве, консультировать по вопросам цивилизованного регулирования взаимоотношений на рынке труда. Для потенциальных работодателей такие центры предлагают размещение вакансий, проведение информационных и рекрутинговых мероприятий и семинаров-тренингов по трудоустройству при участии компаний. Также центры трудоустройства проводят ярмарки (дни) карьеры, где компании могут подобрать необходимых работников из студентов учебного заведения. Все указанное является важными шагами вузов навстречу требованиям рынка труда [16].

Работодатели также должны пойти навстречу высшему образованию, ведь они стремятся получить квалифицированных молодых специалистов и ищут новые возможности для их подготовки. Для достижения этой цели работодатели вместе с учебными заведениями создают партнерские отношения, выигрышные для обеих сторон. Университеты обеспечивают себя доходами и новыми идеями из сферы производства, помогает им проводить научные исследования при подготовке студентов. Производство может предоставить учебному заведению обратная связь о готовности выпускников к успешной профессиональной деятельности, сориентировать систему подготовки будущих специалистов на формирование актуальных для современного рынка труда профессиональных компетенций. Кроме этого, налажена система работы вузов с потенциальными работодателями повышает привлекательность учебного заведения в глазах студентов и абитуриентов. Предприятия, в свою очередь, могут развить систему адресной подготовки будущих работников, закрывать имеющиеся у них вакансии и иметь достаточно практических навыков для успешной работы. Также они могут принимать непосредственное участие в подготовке кадров, направляя своих топ - менеджеров для преподавания в вузах практически ориентированных дисциплин [15].

Вместе с тем, на данном этапе присутствие и роль профсоюзов, бизнес- и социальных партнеров в структурах внедрения Болонского процесса является минимальной

ВЛИЯНИЕ РЫНКА ТРУДА НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОГРАММ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО СЕКТОРА ЭКОНОМИКИ

и части формальной. Конкретные действия в этом направлении носят несистемный характер в масштабах локальных соглашений. Острой проблемой является трудоустройство выпускников с бакалаврскими квалификациями, место для которых на рынке труда практически не определено ни законодательно, ни работодателями. Несколько лучше налажен процесс трудоустройства магистров. Одной из причин этого является то, что по сравнению с бакалавратом студенты и их родители предпочитают видеть в магистерской степени фактор, гарантирующий успех и карьерное продвижение. А профессорско-преподавательский состав связывает с магистратурой более престижные академические роли; работодатели делают свой выбор в пользу магистров как более квалифицированных, компетентных и готовых работать в компаниях, занятых в высокотехнологичных сферах. Если говорить о большинстве вузов Украины, то при установлении контактов между работодателями и представителями университетов часто возникают трудности. К сожалению, предприятия не всегда соглашаются предоставлять возможности для стажировки преподавателей и практики студентов, поскольку считают свою деятельность коммерческой тайной. Очень важно, чтобы при установлении контактов вуз мог быть интересным представителям производства. Это можно осуществить, внедряя научные разработки, проекты и исследования, которые будут полезны предприятиям [6].

Например, в США бизнес является реальным заказчиком образовательных и научных услуг. Оплата за эти услуги обеспечивает развитие учебных заведений и предоставляет практический материал для обучения. Производство финансирует 60% науки в вузах. Для поддержания компаний, активно сотрудничают с учебными заведениями, создана система льгот и дополнительных прав (государственные научные лаборатории, льготы на покупку сырья, материалов, налоговые льготы) [8].

Без участия работодателей в подготовке специалистов трудно рассчитывать на то, что

академическая подготовка будет полностью удовлетворять требования рынка труда. Также стоит отметить проблему отсутствия четкого планирования занятости студентов, которая является во всех вузах страны. Она заключается в различиях между требованиями работодателей и ВУЗов страны. Работодатель хочет видеть специалиста с дипломом магистра и опытом работы, а преподаватели, в первую очередь, должны обеспечивать теоретический фундамент образования.

Сегодня существует несколько методов юридического закрепления отношений между вузами и работодателями: договорные отношения и альянсы. Договорные отношения является наиболее распространенным и простым способом взаимодействия. Между вузов и предприятием заключается договор о предоставлении определенных услуг. В договоре прописано количество студентов, срок их подготовки, сумму оплаты за нее. Альянсы - объединение нескольких предприятий с университетами на основе соглашения о совместном финансировании, разработке и модернизации продукции (образовательной программы). Участники альянса вносят свой вклад в виде интеллектуальных, материальных и других ресурсов, по достижении результата получают свою долю интеллектуальной собственности [8].

Структурами, которая способствует плодотворному взаимодействию предприятий и вузов, могут выступать образовательно-промышленные группы, которые являются объединением учебных заведений и предприятий. Их объединяют по принципу совместного участия свои материальные и нематериальные активы на базе соответствующего соглашения, для реализации инвестиционных и иных проектов и программ, направленных на повышение качества подготовки кадров всех научно-образовательных уровней в соответствии с современными социально-экономическими и хозяйственными требованиями. Минимальный состав таких структур - один вуз и одно предприятие. В дальнейшем такие структуры могут осложняться. Функционирование их можно описать в виде долгосрочных догово-

ров совместной деятельности, предоставление научно-технических, консультационных или образовательных услуг [8,10]. Работодатели, заинтересованные в квалифицированных кадрах и готовы интегрироваться в систему образования различными путями, в частности, путем присутствия в наблюдательных советах университетов, в составлении учебных программ, участия в разработке профессиональных стандартов, организации производственной практики и поддержке профессионального образования. Важным их задачей является необходимость объяснить, какие именно знания нужны на практике, на рабочем месте. Существует целый ряд форм сотрудничества между вузами и работодателями может быть, основные из которых представлены на рисунке 2.

Реализация вышеуказанных форм сотрудничества в системе высшего образования Украины будет способствовать достижению основной цели - подготовки высококвалифицированных специалистов, которые будут конкурентоспособными на национальном, европейском и мировом рынках труда.

Для успешной реализации такой задачи вуза необходимо налаживать тесные связи с работодателями - непосредственными потребителями, по заказам и на требования которых и должны готовиться специалисты в университете [1,7]. Несмотря на высокое качество подготовки специалистов, сейчас в

Украине болезненным является вопрос их трудоустройства.

С первого января 2011 года с целью обеспечения выполнения распоряжения Министерства образования и науки Украины относительно утверждения плана мероприятий по повышению уровня трудоустройства студентов и выпускников вузов, все вузы Украины обязаны создать центры содействия трудоустройству студентов и выпускников.

Основной задачей таких центров является обеспечение анализа спроса и предложения на рынке труда, налаживание связей с Государственной службой занятости и информирования студентов о вакантных рабочих местах, что позволит существенно уменьшить проблему поиска первого рабочего места для выпускников. Сейчас в университетах этим вопросом занимаются отделы трудоустройства выпускников и выдачи документов о высшем образовании. Созданы рабочие группы факультетов, которые призваны изучать и согласовывать реальные потребности рынка труда и рынка образовательных услуг, формировать базы рабочих мест для трудоустройства выпускников, готовить документы по трудоустройству выпускников, распределять их на работу, а также осуществлять контроль за прибытием выпускников на рабочие места [15,19].

Значительной проблемой для вузов является формирование базы рабочих мест.



Рис. 2. Формы сотрудничества между вузами и работодателями

Fig. 2. Forms of cooperation between higher education institutions and employers

**ВЛИЯНИЕ РЫНКА ТРУДА НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОГРАММ ПОДГОТОВКИ
СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
АГРОПРОМЫШЛЕННОГО СЕКТОРА ЭКОНОМИКИ**

Для этого в университетах необходимо организовывать встречи студентов с работодателями, выдающимися выпускниками предыдущих лет, работниками областных государственных администраций, центров занятости и т.д. Руководители производственных практик студентов должны проводить мониторинг потребности в соответствующих специалистах в местах их прохождения. Кроме того, поступающие, которые самостоятельно определились с местом будущего трудоустройства, должны подать в приемную комиссию университета соответствующую информацию. В формировании базы рабочих мест для выпускников университета принимают участие:

- поступающие программы подготовки магистров по государственному заказу, имеющих право подавать в приемную комиссию университета заявку предприятия, организации, учреждения на трудоустройство вы-

пускника; заявка хранится в личном деле абитуриента;

- директора учебных институтов вместе с заведующими выпускающих кафедр и деканами факультетов путем организации встреч студентов с работодателями, выдающимися выпускниками университета прошлых лет, работниками областных государственных администраций, центров занятости, позволяет дополнять базу рабочих мест;

- руководители производственных практик путем мониторинга потребностей в соответствующих специалистах;

- постоянно поддерживается связь с базами производственных практик, позволяет отслеживать их потребность в соответствующих специалистах.

Все указанное позволяет сформировать базу рабочих мест для выпускников университета (рис. 3).

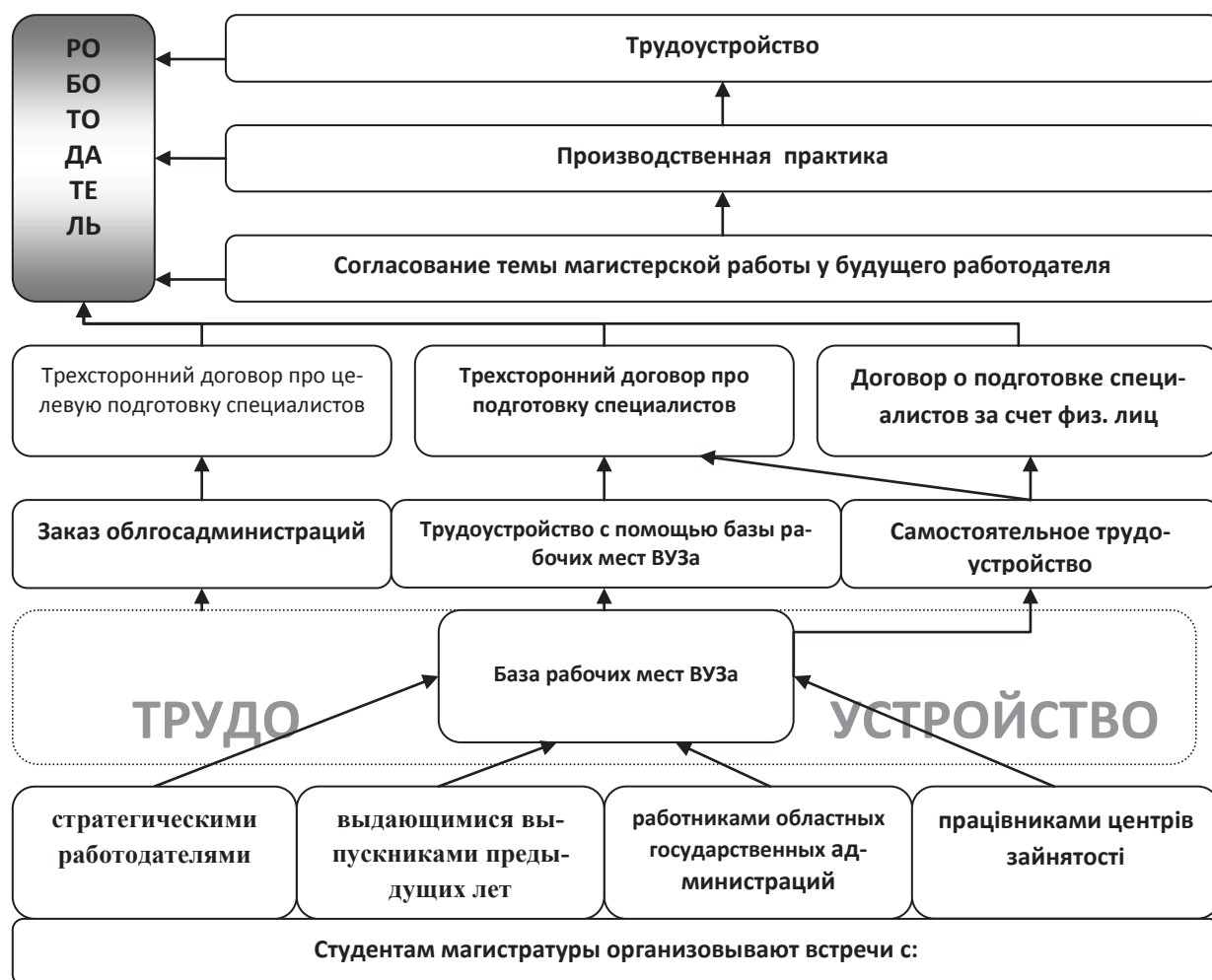


Рис. 3. Формирование базы рабочих мест вузов и трудоустройства выпускников различных категорий

Fig. 3. Forming the base of jobs and employment of graduates of higher educational institutions of different categories.

С целью максимального приближения содержания подготовки специалистов к научным и производственным проблемам агропромышленного комплекса Украины тематики магистерских работ также формируются в зависимости от будущего места трудоустройства магистров и соглашаются у работодателей письмом-согласованием. Следовательно, фактически в таких случаях идет целенаправленная подготовка предприятием будущих работников. Такая практика должна быть не исключением, а системой работы, т.е. работодателям следует изменить стратегию поиска молодых специалистов и участвовать в формировании содержания их обучения.

Повышение эффективности такой работы возможно через внедрение программы стратегического партнерства. Целью такой программы является обеспечение высокого качества профессиональной подготовки специалистов на основе комплексного сотрудничества университетов с заинтересованными предприятиями и организациями - стратегическими партнерами, путем объединения интеллектуального потенциала, материальных, финансовых и корпоративных ресурсов партнеров [11].

Основными задачами программы являются: разработка профессиональных требований к специалистам;

- прогнозирование потребностей рынка труда и обеспечения трудоустройства выпускников;

- совместная разработка содержания, информационно-методического и материально-технического обеспечения избирательной составляющей учебных планов и программ Университета и оценка их качества;

- совместная реализация и ресурсная поддержка учебных программ, производственных и преддипломной практик студентов магистратуры и оценка качества подготовки выпускников;

- привлечение студентов к реальной производственной и исследовательской деятельности предприятий;

- организация на базе предприятий повышения квалификации и стажировок научно-педагогических работников и сотрудников университета;

- развитие инфраструктуры стратегического партнерства, создание совместных

учебно-научных центров, лабораторий, кафедр;

- проведение совместных конференций, школ-семинаров для студентов, аспирантов и молодых ученых и т.д..

Основу программы составляют двусторонние долгосрочные договоры о сотрудничестве. В договоре о сотрудничестве фиксируются намерения стратегических партнеров – университета и предприятия, а также определяются новые направления сотрудничества и обязанности сторон. Неотъемлемой частью соглашения является программа работы на текущий год, ежегодно утверждается обеими сторонами. Основными этапами реализации сотрудничества со стратегическими партнерами являются:

- определение стратегических партнеров - предприятий и организаций, лидеров в своей области;

- заключения с ними двусторонних долгосрочных договоров о сотрудничестве;

- разработка, подписание и реализация программ работы на текущий год, которые ежегодно утверждаются обеими сторонами;

- подготовка отчетов по реализации программ работы на текущий год;

- совместная разработка содержания, информационно-методического и материально-технического обеспечения избирательной составляющей учебных планов (магистерских программ) и их рецензирование работодателями;

- заключение трехсторонних соглашений между университетом, работодателями и студентами магистратуры для закрепления мест их будущего трудоустройства.

- согласование в будущих работодателей тем магистерских работ с целью максимального приближения содержания их подготовки к и производственным проблемам агропромышленного комплекса;

- реализация производственных и преддипломной практик студентов преимущественно с участием работодателей;

- проведение постоянного мониторинга качества подготовки специалистов среди выпускников и ведущих работодателей.

После проведения мониторинга качества подготовки специалистов определяются основные недостатки в подготовке и определяются пути их исправления. По их результатам вносят соответствующие изменения в

ВЛИЯНИЕ РЫНКА ТРУДА НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОГРАММ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО СЕКТОРА ЭКОНОМИКИ

рабочие учебные планы подготовки специалистов.

Для оценки эффективности и контроля за выполнением программы в целом и отдельных договоров ученым советом университета устанавливаются критерии и системы показателей оценки эффективности стратегического партнерства. По завершении календарного года составляется отчет о фактическом выполнении программы работ, который рассматривается и утверждается на ученом совете университета. На основе анализа результатов выполнения договоров и планов работ составляется реестр стратегических университетов.

Сконцентрировав значительное количество опытных специалистов различных профилей, исследовательские университеты свое участие в решении задачи развития аграрного сектора экономики страны должны видеть не только в методическом, кадровом и организационном обеспечении учебно-научного процесса, но и во внедрении результатов исследований в производство.

Чрезвычайно важным вопросом для вузов, готовящих специалистов для аграрного сектора экономики, особенно для университетов исследовательского типа, осуществляющих подготовку и повышение квалификации специалистов аграрной сферы, является непрерывное совершенствование соответствующих программ подготовки специалистов. Влияние географических, экологических, экономических, политических факторов оказывает соответствующего направления магистерским и бакалаврским программам подготовки специалистов. Они должны быть уникальными и удовлетворять потребности экономики страны. Вместе с тем, основные стратегические принципы наполнения таких программ должны быть общими для достижения принципа мобильности как одного из основных принципов Болонского процесса [10].

Основной целью реформы в высшей школе является построение экономики, в центре которой находится человек. Диплом и знания, которые студент вуза - это первый и очень важный шаг к рынку труда, получение престижной и достойно оплачиваемой работы. Но это только первый шаг. Конкуренцию за достойную работу выигрывают те, кто по-

лучил еще и умение, компетенции и квалификации.

Вузы должны обеспечить студентов не только знаниями, но и соответствующими умениями и компетенциями, которые без помощи работодателей сформировать практически невозможно. В связи с этим, важным условием подготовки высококвалифицированных специалистов для инженерно-технического обеспечения агропромышленного сектора экономики является активное сотрудничество трех заинтересованных сторон: учебного процесса - вуза, студента и работодателя. Если работодатели могут помочь университетам адаптироваться к требованиям рынка труда, соответствующие шаги должны также сделать вузы и государство.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aleksyuk A.M. 2001: Modulne navchannya: Problema vzaemodii vkladachiv i studentiv / Pedagogichni tekhnologii u nepererniy profesivnyi osviti: Monografiya / S.O. Sisoeva, A.M. Aleksyuk, P.M. Volovik, O.I. Kulchitska, L.Y. Sigaeva, Ya.V. Tsekhmister ta in.; Za red. S.O. Sisoevoi. – K.: VIPOL. – 54-75.
2. Agrarna reforma v Ukraini. 2005: / [Gaydutskiy P.I., Sabluk P.T., Lutsenko Yu.O. ta in.]; za red. P.I. Gaydutskogo – K.: NNTs IAYe, – 424.
3. Andriyчук V.G. 2005: Suchasna agrarna politika: problemni aspekti / Andriyчук V.G., Zubets M.V., Yurchishin V.V. – K.: Ag-rarna nauka. – 140.
4. Dopovid pro pidsumki sotsialno-ekonomichnogo rozvitku Ukraini u 2005 rotsi. – Rezhim dostupu: <http://www.me.gov.ua>.
5. Klich L.V. 2012: Rol magistraturi u pidgotovtsi kadriv dlya galuzi ovochivnitstva //«Suchasne ovochivnitstvo: osvita, nauka ta inovatsii». – K. –38-40
6. Klich L.V. 2012: Teoretichni i metodichni zasadi pidgotovki magistriv agrarnogo profilu u doslidnitskomu universiteti [mo-nografiya] / L.V. Klich – Kiiiv: Fitosotsiotsentr. – 580.
7. Klich L.V. 2012: Formi kontrolyu yakosti osvitnikh protsesiv u VNZ/ L.V. Klich, O.V. Zazimko / Odeska derzhavna akademiya tekhnichnogo reguluvannya ta yakosti, zbirnik naukovikh prats 1-i naukovo-metodichnoi konferentsii «Yakist osvitnikh poslug». – 64-66.

8. Kulikov P. 2009: Osvitno-promislovi grupi yak instrument finansovogo stimulyu-vannya u galuzi osviti i nauki/ [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupu: http://www.rusnauka.com/17_APSN_2009/Economics/48237.doc.htm
9. L.I. Katan, I.V. Taranenko. 2008: Mizhnarodni osvichni proyekti yak chinniki pidvishchennya konkurentospromozhnosti vishchikh navchalnikh zakladiv Ukraini v konteksti evrointegratsii // Strategiya yakosti v promislivosti ta osviti. Materiali IV Mizhnarodnoi naukovno-tekhnichnoi konferentsii. Varna, Bolgariya – Varna: Volant – TU – Varna. – 393-396.
10. Lisenko V. 2011: Z dosvidu pidgotovki magistriv dlya agrarnogo sektoru yekonomiki / V.P. Lisenko, L.V. Klich // Vishcha shkola. – № 5-6 – 7-11.
11. Lisenko V.P. 2011: Polozhennya pro strategichne partnerstvo mizh universitetom ta robotodavtsiyami / Lisenko V.P., Zazimko O.V., Trakay V.G., Klich L.V., Tavlyuy I.P. – K.: NUBiP Ukraini. – 11.
12. Makkonnell K.R., Bryu S.L. 2006: Ekonomika: printsipy, problemy i politika – 16-e izd. / INFRA-M. – M. – 940.
13. Melnichuk D.O., Lisenko V.P., Klich L.V., Zazimko O.V. 2012: Zabezpechennya yakosti osvichnikh protsesiv // Vishcha Osvita Ukraini / Tematichniy vipusk «Evropeyska integratsiya vishchoi osviti Ukraini u konteksti Bolonskogo protsesu» za rezultatami Mizhnarodnoi naukovno-praktichnoi konferentsii. – № 3, (dodatok 2), t. 1. – 13-17.
14. Organizatsiya navchalno-vikhovnogo protsesu v doslidnitskomu universiteti [monografiya] 2012: / Lisenko V.P., Ridey N.M., Zazimko O.V. Klich L.V., Drobot N.M., Trakay V.G., Palamarchuk S.P., Shishkova L.S. – Kiiv: Vidavnicхий tsentr NUBiP Ukraini. – 644.
15. Ostashko T.O. 2006: Strukturno-institutsiyniy analiz agrarnogo rinku / T.O. Ostashko // In-t yekon. ta prognozuv. – K. – 56.
16. Ofitsiyniy sayt Tsentru zv'yazkiv z robotodavtsiyami ta spriyannya pratsevlashtuvannyyu studentiv «Perspektiva» / [Elektronniy re-surs]. – Rezhim dostupu: <http://kneu-job.com.ua>
17. Pekhota O.M. 2006: Osobistisno oriyentovani pedagogichni tekhnologii: istoriya, teoriya, organizatsiyni vimogi P.P.1.2. // Pedagogichni tekhnologii u neperervniy profesiyiniy osviti: Monografiya / S.O. Sisoeva, A.M. / Pro skhvalennya Kontseptsii Derzhavnoi programi rozvitku osviti na 2006-2010 roki: Rozporядzhennya Kabinetu Ministriv Ukraini vid 12 lipnya 2006 r. № 396-r // Uryadoviy kur'er. – 2 serpnnya (№ 142). – 12-14.
18. Ridey N.M., Zazimko O.V., Klich L.V. 2012: Metodi kontrolyu yakosti osvichnikh protsesiv v universiteti doslidnitskogo tipu // Naukoviy visnik NUBiP Ukraini. – № 175, chastina 2. – Seriya «Pedagogika. Psikhologiya. Filosofiya» – 240-249.
19. Loveykin V. 2012: Optimizatsiya rezhimov kolebanii zernovykh smesey pri nalichii sukhogo treniya / V. Loveykin, Yu. Chovnyuk, V. Kulyk // MOTROL Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Lublin. – Vol. 14, № 3. – 140-147.
20. Boltianskaya N. 2011: Obosnovaniye konstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov separiruyushchikh poverkhnostey zhalyuziynykh reshet zernouborochnykh kombaynov // MOTROL. – Lublin. – 13B. – 111-116.
21. Sidorenko V.K. 2005: Suchasniy poglyad na problemu rozvitku tekhnichnikh zdibnostey // Visnik Chernigivskogo derzhavnogo pedagogichnogo universitetu. Seriya: Pedagogichni nauki – №29. – 3-7.
22. Shitov S.E. 2000: Shkola: monitoring kachestva obrazovaniya / S.E. Shitov. – M.: Izdvo «Profi-K». – 15.

IMPACT ON FORMATION OF LABOUR MARKET TRAINING PROGRAM FOR ENGINEERING AND TECHNICAL SUPPORT AGRO-INDUSTRIAL SECTOR

Summary. The paper analyzes the impact of the labor market on the formation of magicians ster-skih training programs (masters) for engineering and technical support of the agricultural sector of the economy. Considerable attention is given to the fundamental factors of the quality of the educational process of training (Masters) for engineering and technical support of the agricultural sector of the economy.

Key words: labor market, engineering and technical support, agro-industrial sector of economy, quality of educational services.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ТЕПЛИЦЫ ДЛЯ ПРИУСАДЕБНОГО ХОЗЯЙСТВА

Алексей Опришко, Наталья Пасичник

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15

Aleksey Opryshko, Natalya Pasychnyk

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Представлена конструкция экспериментальной теплицы для приусадебного хозяйства, малого и среднего бизнеса, для получения до 2-х урожаев в год без дополнительного обогрева. Конструкция основана на применении покрытий из поликарбоната и аккумуляторов тепла. Проведена экспериментальная оценка полученных результатов.

Ключевые слова: энергоэффективность, теплица, аккумуляторы тепла.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В условиях мирового кризиса стоимость продуктов питания постоянно возрастает. Ограниченная покупательная способность населения заставляет производителей сдерживать рост цен за счет снижения качества продукции. Популярность применения химикатов при промышленном производстве продукции растениеводства заставляет часть потребителей задуматься об альтернативных источниках продовольствия. Весомым решением этой проблемы для частных хозяйств есть использование приусадебных теплиц.

Имеющиеся технологии закрытого грунта можно условно разделить на использование гидропоники и обычного грунта. Использование гидропоники в промышленных масштабах широко применяется в Голландии и Японии и обусловлено максимальной урожайностью на единицу площади, отсутствием болезней грунта, легкостью автоматизации процессов производства. Вместе с тем данная технология не лишена и принципиальных недостатков. Так, при товарном внешнем виде продукции, вкусовые качества её зачастую оставляют желать лучшего. Так же гидропоника не является технологией замкнутого цикла и требует интенсивного вне-

сения минеральных удобрений, стоимость которых так же растет, что не может не сказаться на стоимости продукции. По этой причине появилась тенденция к применения субстратов на основе перегноя, листвы, торфа и т.д. [1-3].

Грунтовые теплицы можно эффективно использовать при отсутствии дефицита пахотных земель, что характерно для Украины. Во времена СССР были созданы значительные тепличные комплексы, конструктивные решения которых обуславливались имеющимися на тот момент материалами и низкой ценой энергоресурсов, что не соответствует сегодняшним реалиям.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Поэтому, целью работы стало разработка конструкции энергоэффективной стационарной теплицы для частных и средних фермерских хозяйств, для получения не менее 2-х урожаев в год без дополнительного отопления.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Конструктивные решения по выполнению теплицы.

Выбор материала для покрытия теплицы. Основной расход энергии в промышленных теплицах, разработанных в СССР, был на их обогрев, поскольку в качестве светопропускающего материала для стен и крыш использовалось стекло имеющие высокую теплопроводность. Эти теплицы нуждались в постоянном отоплении в зимний период, независимо от наличия растений, поскольку наличие больших масс снега на крыше могло привести к обрушению остекления. Повысить энергоэффективность теплиц пытались

путем применения оргстекла (полиметилметакрилата), но в 80-е годы прошлого столетия попытка не удалась по причине пожелтения и деградации материала под влиянием ультрафиолета.

Уменьшение теплопотерь возможно при применении современных прозрачных материалов, таких как сотовый поликарбонат, который, относительно стекла, имеет значительно ниже удельный вес, теплопроводность и стоимость. Кроме того, он более долговечен, чем, например, полиметилметакрилат. В настоящее время данный материал выпускается в промышленных масштабах, сертифицирован в России и регламентирован техническими условиями ТУ 2256-001-54141872-2006. На рынке Украины представлено много образцов сотового поликарбоната таких производителей как POLYSIDE и POLYGAL (Израиль), SUNLITE (Великобритания), CARBOGLASS и KINPLAST (Россия), Vizor (Чехия), Soton (Украина), др. [4-6]. Эти материалы отличаются составом, технологией изготовления и, соответственно, ценой. Основной причиной разрушения поликарбонатов является ультрафиолетовое излучение, для защиты от которого используют накатку специального пленочного покрытия, качество которого и определяет срок эксплуатации и соответственно гарантийные обязательства поставщика.

Для изготовления экспериментальной теплицы был выбран 4 мм сотовый поликарбонат торговой марки VIZOR, поскольку он имеет максимальный для поликарбонатных листов срок гарантии в 10 лет и цену, сравнимую с так называемыми NoName образцами, не имеющими никакой гарантии от поставщика.

Конструкция каркаса теплицы. На рынке Украины представлено несколько компаний, предлагающих готовые малогабаритные теплицы из поликарбоната. Представленные теплицы имеют сходную конструкцию и геометрические размеры - ширина теплицы 3 или 4 м и длинна, кратная 2 м [7-9]. Исходя из стандартных размеров листа поликарбоната в 6×2.10 м, можно сделать вывод, что данные размеры арочных, одно и двускатных теплиц, а также теплиц Митлайдера определялись безотходным использованием поликарбоната. В качестве каркаса используется

волнообразный оцинкованный профиль 0,75 мм, алюминиевая профилированная труба сечением 20/30×20×1,5 мм, или оцинкованная труба 20×20×2 мм. Исходя из того, что в теплице планировалось использовать подвесные лотки с растениями, которые имеют значительный вес, для производства теплицы применили стальную трубу 40/20×20×2 мм. При выборе форм фактора была принята арочная конструкция, поскольку при одно- и двускатном решении нужно выполнять дополнительную герметизацию стыка кровли и стенки. Габариты были приняты 6×4×2,75 исходя, из пожелания обслуживающего персонала иметь возможность работать в полный рост около стен теплицы. При указанных размерах и материалах вес теплицы с учетом налипания снега составит несколько тонн, поэтому был выполнен бетонный фундамент ленточного типа с шириной 0,25 м. Глубина фундамента была принята в 0,85 м, исходя из возможной глубины промерзания грунта в зимний период в месте строительства. С наружной стороны фундамент был утеплен пенополистиролом толщиной 20 мм и защищен от намокания слоем гидрозащитного покрытия Акваизол.

Кроме предлагаемых [4-6] стандартных конструкций теплицы энтузиастами было разработано несколько альтернативных вариантов, предназначенных именно для приусадебных хозяйств, малого и среднего бизнеса [8-13]. Интересными, на наш взгляд, есть стационарные теплицы «Солнечный вегетарий» [10], теплица-термос [11]. Предложенные конструкции приспособлены под максимальное использование солнечной энергии, для реализации чего служат:

1. Размещение строения в пространстве с севера на юг.

2. Использование светоотражающих покрытий и утепления на стенах, через которые солнечный свет не может прямо попасть внутрь теплицы.

3. Использование аккумуляторов тепла.

Аккумуляторы тепла для теплицы могут быть твердотельные, жидкостные (водяные) и на основе фазового перехода. Твердотельные аккумуляторы выполняются на основе камня, который днем нагревается, а ночью остывает при прокачке воздуха [14, 15]. В литературных и интернет-источниках нам не

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ТЕПЛИЦЫ ДЛЯ ПРИУСАДЕБНОГО ХОЗЯЙСТВА

удалось найти результаты практического использования твердотельных аккумуляторов непосредственно для теплиц. По нашему мнению, это связано с тем, что в теплицах, в отличие от жилых помещений, где традиционно эксплуатируются такие аккумуляторы, очень высокая влажность, которая приводит к выпадению конденсата на охлажденные камни в бункере, что должно привести к низкой эффективности данной конструкции. Аккумуляторы на основе фазового перехода [15-17] более эффективны, поскольку для многих веществ значение энтальпии фазового перехода значительно выше теплосодержания за счет теплоемкости. Данные аккумуляторы в настоящее время активно разрабатываются, но их сложность и высокая стоимость обуславливают необходимость дополнительных исследований по экономической целесообразности их применения в теплице. Исходя из этого, был принят водяной тепловой аккумулятор, который расположили у северной стенки теплицы, максимально близко к кровле. Такое решение также обеспечивает запас тёплой отстоявшейся воды для полива растений.

На рис. 1 представлено внешний вид разработанной экспериментальной конструкции. Теплица была создана в августе 2011 года. За 2 года эксплуатации конструкция показала свою надежность при наличии снежного покрова до 0.6 метра и устойчивость к граду.

Работы в теплице начинаются весной, когда устанавливается среднесуточная активная температура – не ниже 5 °С. Следует отметить тот положительный момент, что грунт в зимнее время не промерзает глубоко, и поэтому весной нет радиационных заморозков (очень частое негативное явление на открытом грунте, когда в период установившихся положительных температур происходит освобождение холодных масс их подстилающих слоёв почвы). В 2012 году первый посев провели во второй декаде марта. В это время температура ночью на улице была - 2°С и ниже, а днем не превышала +8°С. На протяжении первой недели на ночь растения укрывались полиэтиленовой пленкой.

В первый год эксплуатации мы запоздали в посевом и высадкой рассады, так как не успели вовремя завезти грунт. Но результаты нас всё равно порадовали - на 01.04 был получен первый урожай зеленого лука, с 15.04 – редис, шпинат, салат и рассада овощей, 15.05 – собирали огурцы и 2.06 – помидоры. Приведенные результаты получены на протяжении 1-го года эксплуатации, и ряд элементов, а именно подбор культур, сортов, сроков посадки требует усовершенствования.

Конструктивно разработанная модель наиболее схожа с «Теплицей-термосом» компании «Вишневы сад» [8], в которой, согласно описанию, температура не опускается ниже 3 °С даже при морозе снаружи до - 30 °С.



Рис. 1. Экспериментальная теплица
Fig. 1. Experimental greenhouse

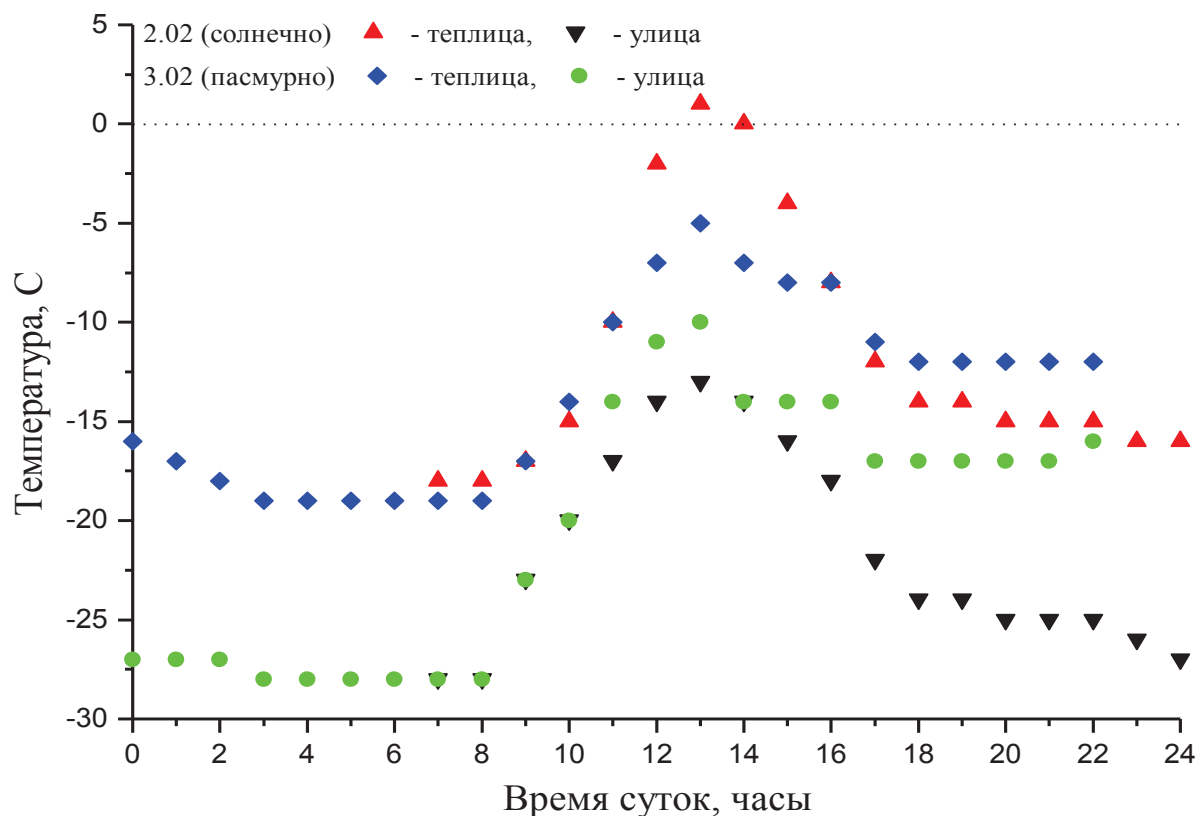


Рис. 2. Зависимость температуры внутри и вне теплицы от времени суток
Fig. 2. Dependence temperature inside and outside greenhouse time of day

В этом случае использование даже мало-мощного обогревателя обеспечит эксплуатацию теплицы на протяжении всего года, кардинально повысив её рентабельность. Экспериментальные исследования проводились 02-03.02.2012, измерялась температура воздуха на высоте 1,5 метра от уровня грунта с северной стороны в середине и снаружи теплицы. Время исследования было выбрано исходя из прогноза погоды, согласно которого 2.02.2012 при ясной погоде температура воздуха была до -29°C , а на следующий день ожидалось потепление на 10°C при плотной облачности. Полученные результаты представлено на рис. 2.

Как видно из представленных данных, положительная температура в теплице была достигнута на протяжении 2-х часов в солнечный день при разнице температур не 30 , а 16 градусов, при этом внутренняя поверхность теплицы была покрыта слоем изморози. Аккумуляции тепла в грунте, достаточно для поддержания положительной температуры на его поверхности, не произошло. В пасмурный день разница составляла лишь $5-6^{\circ}\text{C}$. Исходя из этого, заявленная в эффек-

тивность «теплицы термоса» [8] представляется сомнительной. Тем более что для обогрева заглубленной в грунт на 2 метра теплицы А.В. Потия [11], которая будет иметь лучшую теплоизоляцию [11] в пасмурную погоду отопление требуется.

Исходя из высокой стоимости теплицы, желательно максимально использовать весь её объём. Решением могут стать подвесные лотки с растениями. Подвесные лотки с земляникой широко используют на роботизированных фермах в Японии, в России проводились эксперименты по выращиванию овощей в лотках [18-20], но для работа не имеет принципиального значения высота подвеса. Если же рассчитывать на обслуживание человеком, высота подвеса имеет определенные ограничения. Определить высоту подвеса можно, исходя из теплового пространства теплицы, экспериментальные исследования которого были проведены на протяжении 21-22 марта 2012 года. Эксперимент проводился в разное время суток при солнечной и пасмурной погоде. Измерения проводились с использованием цифрового пирометра UNI-T (модель UT301A). В приделах одного из-

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ТЕПЛИЦЫ ДЛЯ ПРИУСАДЕБНОГО ХОЗЯЙСТВА

мерения допускалось колебание температуры в диапазоне до 0,2 °С. Температурные показатели снимались со стальной трубы высотой 3м и диаметром 50мм, с теневой стороны. Труба была окрашена масляной краской желтого цвета. Пространственно образец был размещен в геометрическом центре теплицы и заглублен на 0,25м. в грунт. Полученные результаты представлены на рис. 3.

Как видно из приведенных результатов измерений независимо от интенсивности солнечного излучения температура воздуха от высоты в 0,5м до верха теплицы приблизительно одинакова. При температуре в 18,3 °С (♦) около потолка наблюдается снижение температуры, чего не происходит при прочих измерениях. По нашему мнению, причиной этого являются щели между стеной и кровлей, образовавшиеся в результате теплового расширения поликарбоната и приведшие к сквозняку от сильного ветра на улице. В дальнейшем щели были герметизированы резиновым уплотнителем, после чего падения температуры не наблюдалось. Следует отметить, что выполнение достаточно трудоемкой операции по герметизации шва дало результат в диапазоне высот до 20-25см. максимум, где практически невозможно разместить лотки. Следует отметить, что

технологически наиболее сложным и дорогим элементом конструкции являлись дуги из гнутой стальной трубы 40×20×2. Соответственно, увеличение высоты теплицы за счет вертикальных стен на 1.5-2м не приведет к существенному удорожанию изделия, позволив получить больший объем для подвесных лотков. Температура воздуха в теплице днём, при интенсивном солнечном освещении и закрытых дверях, уже в середине марта повышается до 40 °С, поэтому нужно следить и регулировать температурный режим. Использование бака с водой емкостью 350л в качестве теплового аккумулятора позволяет снизить максимальную температуру. В бак закачивали воду из скважины с температурой 9 °С, что привело к выпадению конденсата и снижению максимальной температуры из 40° до 36°С. Но в летнее время использование только теплового аккумулятора оказалось недостаточным. Регулирование температуры в сторону понижения мы осуществляли проветриванием, можно так же проводить затемнение, дождевание. Для удобства пользования и облегчения физического труда, а также привязанности к теплице, в конструкции целесообразно предусмотреть средства автоматизации.

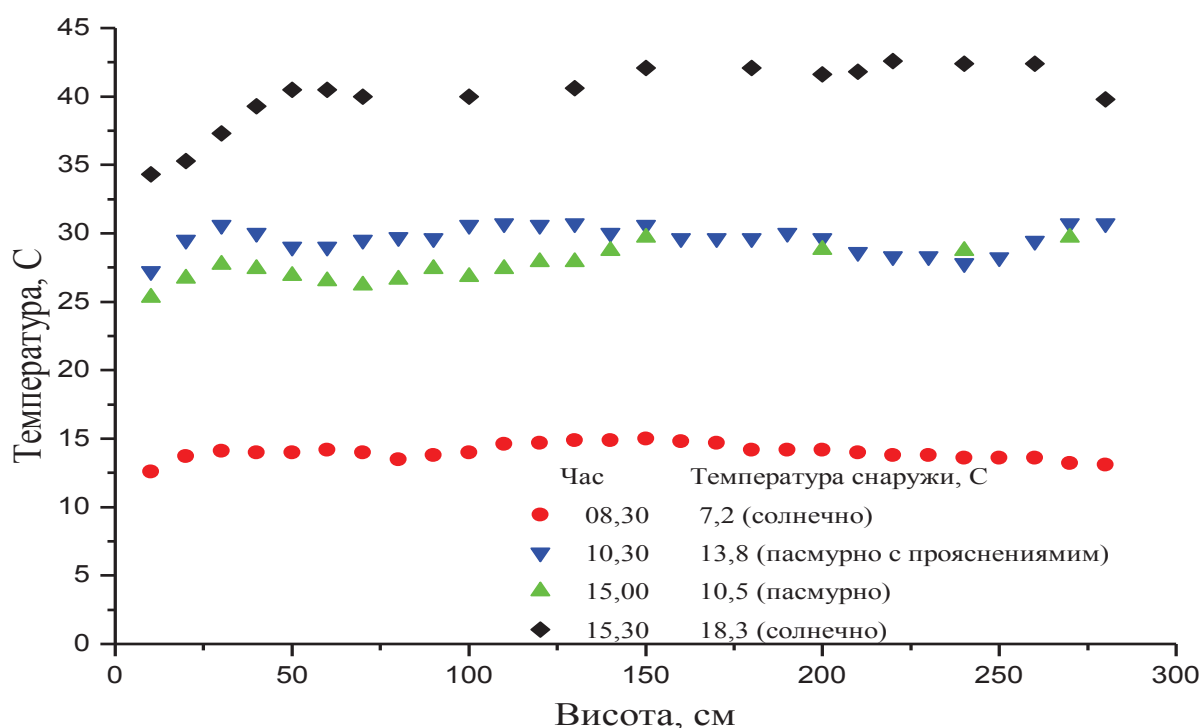


Рис. 3. Температура воздуха в теплице в зависимости от высоты над грунтом
Fig. 3. Temperature in greenhouse, depending on height above ground

ВЫВОДЫ

Из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Предложенная конструкция теплицы позволяет получить до 2-х урожаев в год без постоянного искусственного отопления. Целесообразность использования теплицы в зимнее время необходимо рассчитывать, исходя из реальных значений стоимости продуктов питания и энергоресурсов.

2. Температурное поле теплицы, начиная с высот от 0.5 метра и выше равномерно, что дает возможность использовать подвесные лотки для растений. Высота подвеса может варьироваться исходя из удобства обслуживания. При применении лотков целесообразно увеличение высоты теплицы на 1.5-2 метра.

3. Обеспечение теплового режима теплицы в летнее время только за счет теплового аккумулятора нереализуемо. Целесообразно применение средств автоматизации для обеспечения снижения температуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Selivanov V.G., Piskunov O.D., Yudina S.N., Usmanov P.P. 2012: Opyt primeneniya maloobyemnoy tekhnologii vyrashchivaniya ovoshchnykh kultur v fermerskoy bloch-noy teplitse // Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. – № 4. – 46-48.
 2. Autko A.A., Kozlovskaya I.P. 2005: Optimizatsiya usloviy pitaniya tomata v zimnikh teplitsakh na organicheskikh substratakh s dobavkami kostry lna // Agroekologiya / Belarus. gos. s.-kh. akad. Gorki. – Vyp. 2. – 106-110.
 3. Autko A.A., Kozlovskaya I.P. 2005: Otsenka intensivnosti mineralizatsii mnogokomponentnykh organicheskikh substratov pri maloobyemnom vyrashchivanii tomata v zimnikh teplitsakh // Zemlyarobstva i akhova raslin. – № 3. – 48-49.
 4. Polikarbonat sotovyy http://www.citystroy.ua/materials/construction/polycarbonate_hollow
 5. Olikarbonat sotovyy http://www.polikarbonatvu.com.ua/cellular_polycarb.onate.html
 6. Polikarbonat sotovyy <http://imperial-group.com.ua/ru/catalog/polikarbonat-cell.html>

7. Teplitsa NOVA <http://teplicano-va.com.ua/katalog-teplici-iz-polycarbonata.html>
 8. Kompaniya «Vishnevyy sad» Teplitsy <http://polikarbonatvs.com.ua/category3.htm>
 9. Kompaniya «Profil-M» Ukrainskiye teplitsy. <http://parnik.vn.ua/teplici.html>
 10. A.Ivanko, A.Kalinichenko, N.Shmat 1996: Solnechnyy vegetariy. – K.: "Anfas". – 112.
 11. Teplitsatermos A.V.Patiya <http://teplica.6te.net/termos.html>
 12. Chukhlyayev I. 2003: Neobychnnyye konstruktсии // Sad i ogorod. – №2. – 10.
 13. Sovershenstvovaniye konstruktсии tep-lits dlya sadovodov i fermerskikh khozyaystv. 1992: / Sb. nauch. tr. Proyektno-tekhnologicheskogo instituta mekhanizatsii i elektrifikatsii selskogo khozyaystva Nechernozemnoy zony. – Vyp.61. – 111-114.
 14. Teploobespecheniye. <http://strawhouse.ru/fotogalereya?view=354869401>
 15. Lukyanov A.V., Ostapenko V.V., Aleksandrov V.D. 2010: Akkumulyatory teplovooy energii na osnove fazovogo perekhoda/ Visnik Donbaskoi natsionalnoi akademii budivnitstva i arkhitekturi. Inzhenerni sistemi ta tekhnologii bezpeki. – Vip. 86. – 64-68.
 16. Gazalov B.C., Abelentsev Ye.Yu. 2011: Energeticheskaya otsenka protsessa podogreva tekhnologicheskoy vody s ispolzovaniyem solnechnoy energii. Ekologiya i selskokhozyaystvennyye tekhnologii: agroinzhenernyye resheniya / Sev.-Zap. nauch.-issled. in-t mekhanizatsii i elektrifikatsii sel. khoz-va. – Sankt-Peterburg; T. 3. – 232-238
 17. Rusan V.I., Rusan S.V. 2007: Vozobnovlyayemye istochniki energii i novyye ekologichnyye tekhnologii ikh ispolzovaniya v Belarusi. Ekologiya i s.-kh. tekhnika / Sev.-Zap. nauch.-issled. in-t mekhanizatsii i elektrifikatsii sel. khoz-va. - Sankt-Peterburg, T. 1; Obshchiye ekologicheskkiye aspekty pri razrabotke tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv, ispolzuyemykh v selskokhozyaystvennom proizvodstve. - 40-46
 18. Shigematsu K., Hayashi S., Yamamoto S., Kobayashi K., Kohno Y., Kamata J., Ku-rita M. 2009: Study on the Annual Utilization of a Harvesting Robot for Forcing Culture in Strawberries J.Japan.Soc.Agr.Mach., Vol.71,N 6. - 106-114.
 19. Issledovaniye effektivnosti ventilya-tsii teplitsy s gorizontально-podvesnym polozeniyem

rasteniy. 1986: Sovershenstvo-vaniye metodov proyektirovaniya, izgotovle-niya i vozvedeniya s.-kh. sooruzheniy. - 83-86.

20. Avdiyenko V.G., Bart M.A.; Grosheva T.D. 2000: Razrabotka perspektivnogo metoda vyrashchivaniya ozdorovlennogo kartofelya v usloviyakh plenchno-marlevoy teplitsy Vestn. Ulyan. gos. s.-kh. akad. Agronomiya, N 1. - 67-72.

EXPERIMENTAL RESEARCH GREEN- HOUSES FOR SUBSISTENCE FARMING

Summary. The design of experimental greenhouses for subsistence farming, small and medium business, for up to 2 harvests per year without additional heating. The design is based on the application of coatings of polycarbonate and heat accumulators. The experimental evaluation of the results.

Key words: energy efficiency, greenhouse, heat accumulators.

ИЗГИБ КОРНЯ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ РАБОЧЕГО ОРГАНА КОРЧЕВАТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

Ярослав Коваль

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15*

Yaroslav Koval

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. В статье предлагается метод расчета изгибов жестко прикрепленного к пню корня, который лежит на сплошном, упругом основании, под действием рабочего органа корчевательной техники. Подано графики зависимости изгиба корня от его диаметра, силы и места воздействия рабочего органа корчевательной техники.

Ключевые слова: изгиб корня, рабочий орган корчевателя, сила воздействия, коэффициент пропорциональности.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Наиболее значимыми свойствами древесины при проектировании рабочих органов корчевательной техники, являются ее физико-механические свойства. В процессе разрушения древесных корней в почве, под воздействием на них корчевательной техники, возникает необходимость изучения взаимодействия корней различных диаметров с рабочими органами корчевательной техники. Это необходимо для прогнозирования режимов работы последней. Проводимые теоретические и экспериментальные исследования по сопротивлению корчевки корней деревьев, изучают усилия которые необходимы для разрушения корней и их связей с почвой. В их рамках определяются усилия, которыми действуют в горизонтальной и вертикальной плоскостях, а также в обеих плоскостях одновременно (комбинированное усилие). Однако сегодня отсутствуют данные об исследованиях которые определяют зависимость изгиба корня, прикрепленного к пню, находящегося в почве, от точки приложения силы воздействия, свойств почвы и материала корня.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью работы является определение зависимостей изгиба корня который жестко

прикреплен к пню и находится в почве, от места приложения силы воздействия, свойств почвы и свойств корневой древесины.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Корень, который ответвляется от пня, жестко к нему прикреплен и лежит на почвенном основании. В этом случае при воздействии на него лапой корчевателя, задача может рассматриваться как воздействие консолидированной силы на консольную балку, которая находится на упругом основании.

При решении задачи используем следующие допущения и упрощения:

- изгиб рассматривается в пределах упругих деформаций;
- корень имеет постоянный диаметр в пределах рассматриваемого участка;
- коэффициент сопротивления почвы пропорционален величине поперечного смещения;
- изгиб происходит в плоскости в которой действует сила

Схема такого взаимодействия может быть формализована как задача про изгиб консолидированной силой жестко закрепленной балки, которая лежит на упругом основании рис. 1.

На расстоянии a , от точки крепления балки, действует консолидированная сила P создаваемая рабочим органом корчевателя. Основание (почва), на котором находится балка, создает сопротивление пропорциональное перемещению $z(x)$ с коэффициентом пропорциональности для плоской постановки задачи:

$$k = \frac{E_s}{1-\nu^2},$$

где: E_s - модуль упругости линейных деформаций почвы;

ν - коэффициент Пуассона для почвы.

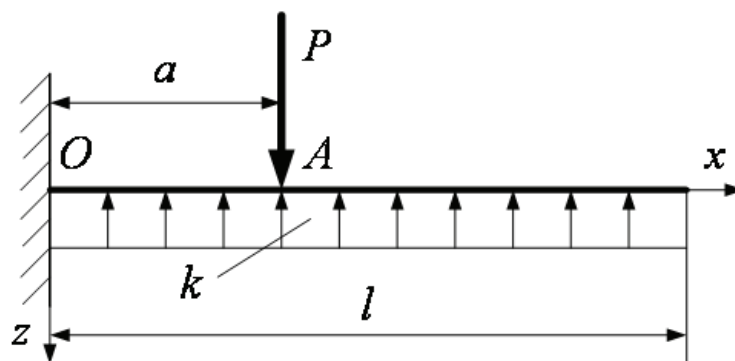


Рис. 1. Схема взаимодействия рабочего органа корчевателя с корнем
Fig. 1. Diagram of working body interaction with root stump

Жесткость изгиба корня, при условии неизменного по длине диаметра, имеет вид:

$$D = \frac{\pi d_k^3}{32} E_k$$

где: E_k - модуль упругости линейных деформаций корня;

d_k - диаметр корня.

Уравнение равновесия балки в общем виде:

$$D z''''(x) + k z(x) = 0. \quad (1)$$

При введении обозначения $G = \sqrt[4]{\frac{k}{4D}}$

уравнение (1) примет вид:

$$z''''(x) + z(x) 4G^4 = 0. \quad (2)$$

Решение данного уравнения можно представить в следующем виде:

для случая $-\infty < x < \infty$

$$z = e^{(-1)^{3/4} \sqrt{2G} x} C_1 + e^{(-1)^{1/4} \sqrt{2G} x} C_2 + e^{(-1)^{3/4} \sqrt{2G} x} C_3 + e^{(-1)^{1/4} \sqrt{2G} x} C_4. \quad (3)$$

для случая $0 \leq x$:

$$z = \cosh(Gx) \cos(Gx) C_1 + \cosh(Gx) \sin(Gx) C_2 + \sinh(Gx) \cos(Gx) C_3 + \sinh(Gx) \sin(Gx) C_4. \quad (4)$$

В случае консольной балки, применяем решение (4).

Постоянные интегрирования, которые входят в уравнение (4) могут быть определены из граничных условий.

Первым граничным условием является перемещение в т. O, которое равно нулю.

При $x = 0$

$$\cosh(0) \cos(0) C_1 + \cosh(0) \sin(0) C_2 + \sinh(0) \cos(0) C_3 + \sinh(0) \sin(0) C_4 = 0$$

Откуда: $C_1 = 0$. Тогда уравнение (4) примет вид:

$$z = \cosh(Gx) \sin(Gx) C_2 + \sinh(Gx) \cos(Gx) C_3 + \sinh(Gx) \sin(Gx) C_4. \quad (5)$$

Поворот сечения в точке крепления балки отсутствует, то есть:

$$\left. \frac{dz}{dx} \right|_{x=0} = 0.$$

Производная уравнения (5):

$$\frac{dz}{dx} = G \left(\cosh(Gx) \left((C_2 + C_3) \cos(Gx) + C_4 \sin(Gx) \right) + C_4 \cos(Gx) + (C_2 - C_3) \sin(Gx) \sinh(Gx) \right).$$

При $x = 0$: $\left. \frac{dz}{dx} \right|_{x=0} = GC_2 + GC_3 = 0$ откуда $C_2 = -C_3$.

Тогда выражение (5) примет вид:

$$z = -C_3 \cosh(Gx) \sin(Gx) + C_3 \cos(Gx) \sinh(Gx) + C_4 \sin(Gx) \sinh(Gx). \quad (6)$$

Изгибающий момент в точке воздействия консолидированной силы должен равняться 0, так как распределенное сопротивление основания следует рассматривать как реакцию.

То есть фиктивный момент в точке A:

$$\left. \frac{d^2 z}{dx^2} \right|_{x=a} = 0$$

Второй дифференциал выражения (5) имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 z}{dx^2} = & 2G^2 C_4 \cos(Gx) \cdot \\ & \cdot \operatorname{Cosh}(Gx) - \\ & - 2G^2 C_3 \operatorname{Cosh}(Gx) \sin(Gx) - \\ & - 2G^2 C_3 \cos(Gx) \operatorname{Sinh}(Gx) \end{aligned} \quad (7)$$

Приравнявая выражение (7) при $x = a$ позволяет определить значение третьей постоянной интегрирования:

$$C_3 = \frac{C_4 \cos(aG) \operatorname{cosh}(aG)}{\operatorname{cosh}(aG) \sin(aG) + \cos(aG) \operatorname{sinh}(aG)}$$

С учетом C_3 выражение (6) примет вид:

$$z = \frac{\left(\begin{aligned} & C_4 (\cos(aG) \sin(Gx) \operatorname{sinh}(Gx) \cdot \\ & \cdot (aG) \operatorname{sinh}(Gx) + \\ & + \operatorname{cosh}(aG) \cdot \\ & \left(\begin{aligned} & -\cos(aG) \cdot \\ & \cdot \operatorname{cosh}(Gx) \sin(Gx) + \\ & + \cos(G(a-x)) \operatorname{sinh}(Gx) \end{aligned} \right) \end{aligned} \right)}{\operatorname{cosh}(aG) \sin(aG) + \cos(aG) \operatorname{sinh}(aG)} \quad (8)$$

Четвертую постоянную интегрирования можно определить с условия, что фиктивный момент в начальном сечении (точке крепления), известен и равен:

$$M_0 = \frac{Pa}{D}$$

Приравнявая вторую производную от выражения (8) к этому фиктивному моменту, можно получить четвертую постоянную C_4 :

$$C_4 = \frac{aP}{2DG^2}$$

С учетом всех четырех определенных постоянных интегрирования, изгиб корня выразится зависимостью:

$$ZK = \frac{(1+i)a\sqrt{\frac{k}{d}} \cdot \left(\begin{aligned} & \cos(aA) \sin(Ax) \cdot \\ & \cdot \operatorname{sinh}(aA) + \sin(Ax) + \\ & + \operatorname{cosh}(aA) \cdot \\ & \left(\begin{aligned} & -\cos(aA) \operatorname{cosh}(Ax) \cdot \\ & \cdot \sin(Ax) + \\ & + \cos(Aa - Ax) \sin(Ax) \end{aligned} \right) \end{aligned} \right)}{k \left(\begin{aligned} & \sin((1+i)Aa) + \\ & + \operatorname{sinh}((1+i)Aa) \end{aligned} \right)}$$

В которой:

$$A = \frac{\left(\frac{k}{d} \right)^{\frac{1}{4}}}{\sqrt{2}}$$

Данная зависимость дает возможность построить графики показывающие соотношение между величиной изгиба корня ZK , силой воздействия рабочего органа корчевателя P и расстоянием от пня до места воздействия рабочим органом на корень x .

ВЫВОД

В результате исследований определена аналитическая зависимость изгиба жестко закрепленного консольного корня, который находится на упругом основании. Данная зависимость может быть использована как для определения места возникновения максимальных моментов, так и максимальных поперечных сил, которые действуют месте воздействия рабочего органа корчевателя. Данная зависимость является основой для сравнительного анализа с динамическими нагрузками, а также для решения задачи о колебаниях корня при динамическом воздействии рабочего органа корчевательной техники, потому как эта зависимость входит в решение уравнения колебаний при аналогических условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Abdullayev U.R. 1991: Kolebaniya plit na uprugoy poluploskosti s uchetom sil treniya po kontaktu./ Abdullayev U.R. Manazhanov B.R. Tashkent FAI – 113.
2. Belyankin F.P. 1969: Prochnost i deformativnost derevyannykh sterzhney pri kru-

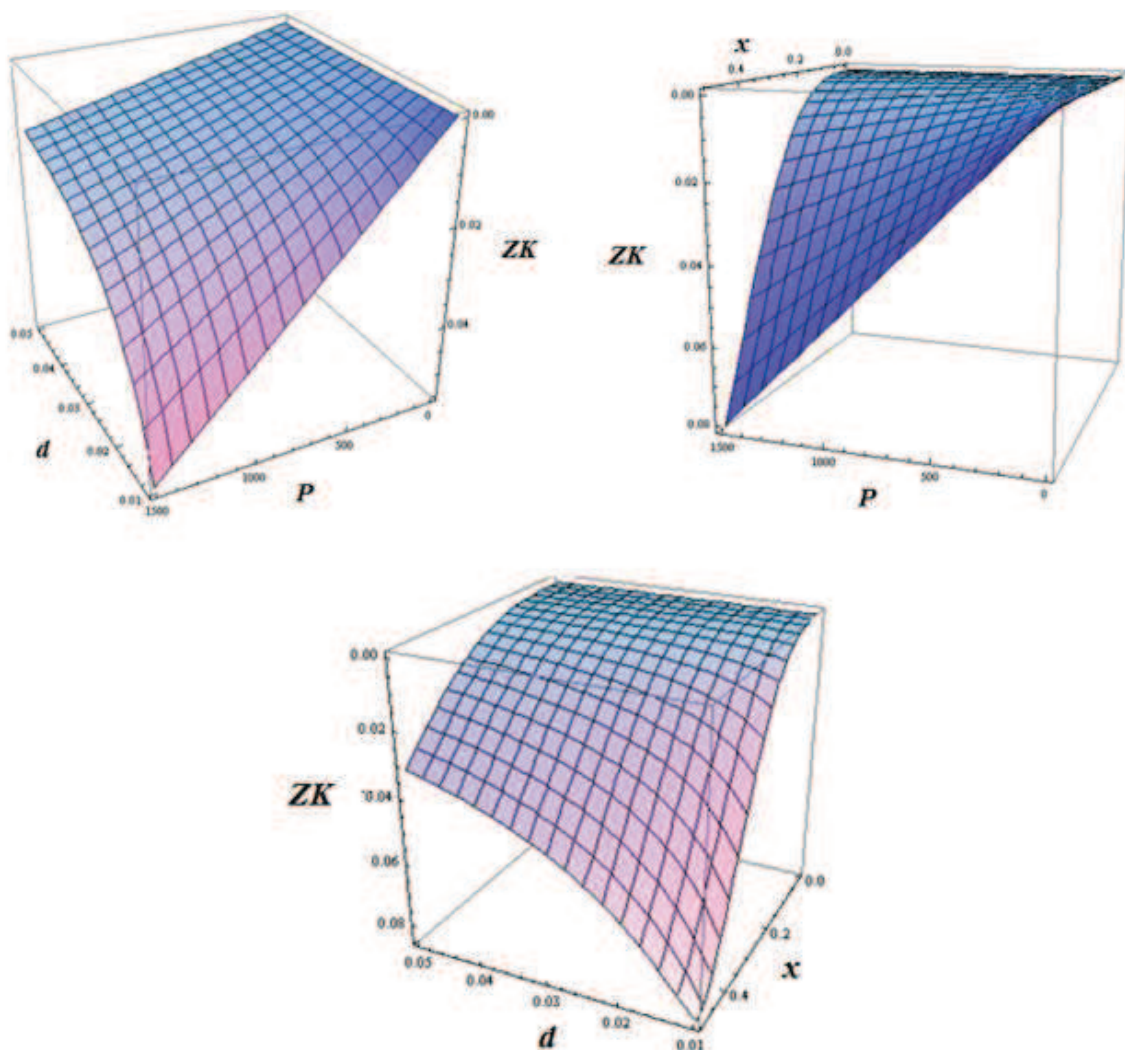


Рис. 2. Зависимость величины изгиба корня находящегося в почве от силы воздействия рабочего органа корчевателя P , диаметра корня d , и расстояния между точкой крепления корня к пню и точкой приложения силы рабочим органом x .

Fig. 2. Dependence of bending of root in soil of force of impact of working body Rooter P , root diameter d , and the distance between point of attachment to root of stump and point of force application's working body x .

chenii./ Belyankin F.P.– K.: Izd-vo akad. nauk. – 96.

3. Biger I.A. 1968: Prochnost uprugost kolebaniya/ Biger I.A., Panovko D.G.– M.: Mashinostroyeniye. – t.3. – 586.

4. Vinokurov V.N. 1996: Prochnostnyye svoystva kornevoy drevesiny// Vinokurov V.N., Shekel A. I., Demkin V.E. / Nauchnyye trudy 2-go mezhdunarodnogo simpoziuma «Stroyeniye, svoystva i kachestvo drevesiny». – M.: MGUL, 186.

5. Glebov I. 2001: Rezaniye drevesiny/Glebov I. UGLTU, 164.

6. Egipko S.V. 2005: Analiz sil deystvuyushchikh na pni pri ikh vykorchevyvanii// Yegip-

ko S.V., Mikheyev A.V. /Voprosy melioratsii/Rosselkhoz i FGNU TsNTI «Melioin-form». - Vyp 3-4. 34-36.

7. Kornev B.G. 1955: Nekotoryye zadachi dinamiki balok na uprugom osnovanii// Kornev B.G./Nauchnoye soobshch./ Vyp. 20. M.: Gos. izd. po stroitelstvu i arkhitekture. – 155.

8. Korobovskiy A. 2005: Rezaniye drevesiny./ Korobovskiy A. Raschet sily i moshchnosti rezaniya. AGTU, 200.

9. Pisarenko G.S. 1988: Spravochnik po soprotivleniyu materialov./ Pisarenko G.S., Yakovlev A.P., Matveyev V.V. – K.: Naukova dumka. – 736.

10. Sargisyan A.E. 2002: Soprotivleniye materialov, teorii uprugosti i plastichnosti/ Sargisyan A.E. M.: Vysshaya shkola. 286.
11. Sapunov V.T. 2004: Klassicheskiy kurs soprotivleniya materialov v resheniyakh zadach/ Sapunov V.T. M.: - 160.
12. Semin M.I. 2005: Osnovy soprotivleniya materilov / Semin M.I M. Vlados. - 256.
13. Skopinskiy V.N. 2002: Soprotivleniye materiallov / Skopinskiy V.N., Zakharov A.A. – M.: MGIU. – 171.
14. Timoshenko S.P. 1972: Kurs teorii uprugosti./ Timoshenko S.P. – K.: Naukova dumka. – 507.
15. Shinkarenko A.A. 2009: Soprotivleniye materialov / Shinkarenko A.A., Kire-
16. eva A.I. M.: Feniks. 272.
17. Volodymyr Kovbasa. 2011: Fizichni rivnyannya deformuvannya gruntu z suttevim pro-yavom v'yazkoplastichnikh vlastivostey./ Volodymyr Kovbasa, Oleksandr Gutsol, Vitaliy Kurka. Motrol, 13B, 145–155.
18. Koch Peter. 2011: Machine for row-mulching logging slash to enechance site a cjn-cept Transactions of the ASAE voll. 20 №11.
19. McKenzie W.M. 1997: Effect of Edge Bluntness in the cutting of wood/Forest Products journal. №. 444 – 45.
20. McKenzie W.M. Ouling R.L. 2001: A factorial experiment in transverse-plane (90/90) cutting of wood Part I/Cutting force and edge wear. – Wood Scienet/ v.3, №4 - 44-50.
21. Nahajama T. 2001: Analysis of transitional cutting process. Ingenieursblad. 40 №4. – 102–104.

ROOT BENDING UNDER INFLUENCE OF WORKING BODY OF SPECIALIZED EQUIPMENT

Summary. In paper method of calculation of deflections of roots, under the influence of specialized equipment is developed. Schedules of bend of root, depending on its characteristics are shown.

Key words: root bend, working fragment of search, influence force, proportionality coefficient.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИИ ГОТОВНОСТИ СИСТЕМЫ «ЧЕЛОВЕК-МАШИНА» ПРИ НАКОПЛЕНИИ ПОВРЕЖДЕНИЙ

Андрей Новицкий

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15*

Andrey Novytsky

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Разработана стохастическая модель и проведён анализ системы «человек-машина» при накоплении отказов. Получена аналитическая зависимость для определения вероятности безотказной работы системы в период ухудшения технического состояния машины и снижения профессионального и психофизиологического уровня оператора.

Ключевые слова: система, надёжность, модель, машина, оператор, отказ, восстановление.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Надёжность многооперационных сельскохозяйственных машин, как сложных технических систем зависит не только от совершенства их конструкций, но и от профессионального отношения обслуживающего персонала к машинам, которые обслуживаются. Возникает необходимость акцентирования внимания на изучение функционирования социотехнических систем вида «человек-машина» (СТС «ЧМ»). Нестабильность условий эксплуатации, снижение влияния ремонтно-обслуживающей базы на поддержание техники в работоспособном состоянии, ухудшение технического состояния сельскохозяйственных машин, профессиональный и психофизиологический уровень операторов (трактористов, водителей, слесарей-ремонтников, управленческого персонала) существенно затрудняют оценку показателей надёжности техники и определения необходимых их значений.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На основании сказанного, формирование потоков отказов и восстановлений, динамика изменения составляющих системы «человек-машина» СТС «ЧМ» не могут быть описаны

в рамках марковских случайных процессов переходов систем в различные возможные состояния. Однако, для системного анализа надёжности СТС с использованием этого математического аппарата, в работах профессоров Ушакова И.А., Нечипоренко [14, 15, 19] предложено введение дополнительных фиктивных состояний. При аналитических исследованиях «стареющих» СТС «ЧМ» немарковские процессы заменяются на марковские. В результате таких преобразований усложняется граф состояний и переходов системы, однако упрощается математический аппарат их анализа [9, 10, 12].

В последние годы в научных изданиях Украины появились исследования [1, 2, 4, 5, 7], в которых рассматриваются вопросы обеспечения надёжности сельскохозяйственной техники, как сложных систем. В представленных статьях объектами исследований выступали машины или системы «машина-база ТО». Рассмотрены ситуации, когда одновременно меняются, как технический уровень машин, так и потенциальные возможности базы технического обслуживания. Но, как показывает анализ, в представленных работах не отражено влияние человека на надёжность техники, то есть не взяты во внимание подсистемы «человек-оператор» или «человек-слесарь», обеспечивающих эффективное использование и поддержание работоспособности машин. Вместе с тем, именно от профессионального уровня операторов и слесарей, их отношения к служебным обязанностям и умение своевременно устранять отказы, зависит надёжность сельскохозяйственной техники [3, 6, 13].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью представленной работы является проведение теоретических исследований, посвященных выявлению закономерностей

изменения вероятности безотказной работы СТС «человек-машина», уровень надёжности которой снижается с увеличением интенсивностей отказов двух составляющих системы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Проблеме определения вероятности безотказной работы СТС «ЧМ», которыми являются сельскохозяйственные машины в условиях старения техники и снижения профессионального и психофизиологического уровня «человека-оператора», посвящено исследование [3], где построен граф и представлена стохастическая модель состояний и переходов системы «ЧМ» при накоплении отказов (рисунок 1). Проведём анализ представленного графа: «0» - единственное состояние, которое характеризует готовность системы к работе; «1» - неработоспособное состояние (устранение отказов, возникших вследствие снижения работоспособности оператора и устранения отказов вследствие «старения» машины); «0'» - промежуточное (фиктивное состояние) снижение профессионального и психофизиологического уровня оператора; «0''» - промежуточное (фиктивное состояние) «старение» машины; $\lambda'_0, \lambda''_0, \lambda'_1, \lambda''_1$ - интенсивности отказов; μ - интенсивность восстановления.

Вероятность нахождения системы в этом состоянии определяется как вероятность $P_0(t)$.

На основании построенного графа переходов составлены дифференциальные уравнения динамического баланса (уравнения Колмогорова [8]) для вероятностей состояний и переходов системы «человек-машина» (1) [3]. Решение уравнений (1) предполагалось в преобразованиях Лапласа, которое дало новую систему уравнений (4) [3].

Определение вероятностей состояний представленной СТС «ЧМ» возможно через решение отношений (6) [3]. Для этого необходимо установить значение определителя главной матрицы Δ системы уравнений (знаменатель), а также определителей, которые отвечают определяемым вероятностям (числителям). Матрица знаменателя имеет четвертый ранг, поэтому для её решения необходимо понижение.

Знаменатель Δ в указанном уравнении определяется согласно матрицы (5) [3], а неизвестные согласно правила Крамера из выражений (6) [3]. Для полученной системы (4) [3], запишем зависимость для установления определителя, установив коэффициенты при неизвестных:

$$\Delta = \begin{vmatrix} (S + \lambda'_0 + \lambda''_0) - \mu & 0 & \lambda''_0 & 0 \\ S & S & S & S \\ -\lambda'_0 & 0 & S + \lambda'_1 & 0 \\ -\lambda''_0 & 0 & 0 & (S + \lambda''_1) \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix} \quad (1)$$

Для определения значения Δ в представленных выражениях, необходимо снизить его порядок, который можно провести, используя способ разложения определителя по элементам:

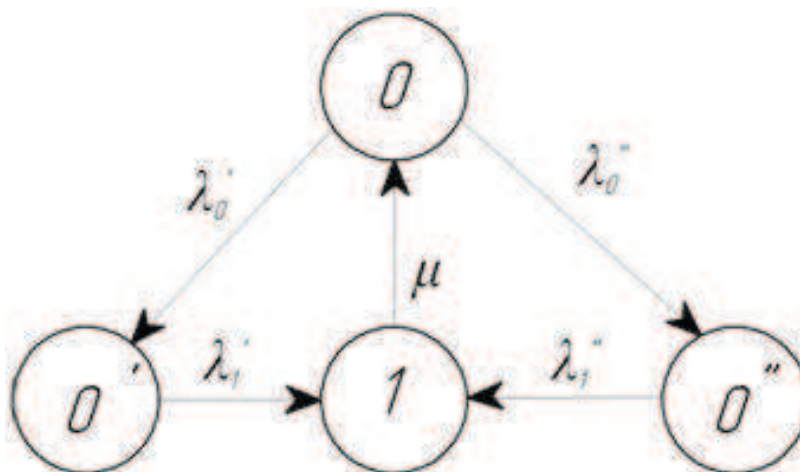


Рис. 1. Граф состояний и переходов системы «человек-машина».

Fig. 1. Graphic representation of states and transitions of «human-machine».

$$\Delta_0 = \begin{vmatrix} (S + \lambda'_0 + \lambda''_0) - \mu & 0 & 0 & 1 \\ S & S & S & 1 \\ -\lambda'_0 & 0 & (S + \lambda'_1) & 0 \\ -\lambda''_0 & 0 & 0 & (S + \lambda''_1) \end{vmatrix} =$$

$$= S + \lambda'_0 \begin{vmatrix} S & S & S \\ 0 & (S + \lambda'_1) & 0 \\ 0 & 0 & (S + \lambda''_1) \end{vmatrix} + \mu \begin{vmatrix} S & S & S \\ -\lambda'_0 & (S + \lambda'_1) & 0 \\ -\lambda''_0 & 0 & (S + \lambda''_1) \end{vmatrix}$$

$$\Delta^1 = \begin{vmatrix} S & S & S \\ 0 & (S + \lambda'_1) & 0 \\ 0 & 0 & (S + \lambda''_1) \end{vmatrix} = S(S + \lambda'_1)(S + \lambda''_1).$$

$$\Delta^2 = \begin{vmatrix} S & S & S \\ -\lambda'_0 & (S + \lambda'_1) & 0 \\ -\lambda''_0 & 0 & (S + \lambda''_1) \end{vmatrix} = S(S + \lambda'_1)(S + \lambda''_1) - S(S + \lambda'_1)(-\lambda''_0) -$$

$$- S(-\lambda'_0)(S + \lambda''_1).$$

Получив значение Δ^1 и Δ^2 , проведем замену первой и второй составляющей выражений (6) [3] на $(S + \lambda'_0)\Delta^1$ и $\mu\Delta^2$, для нахождения определителя:

$$\begin{aligned} \Delta &= (S + \lambda'_0 + \lambda''_0)\Delta^1 + \mu\Delta^2 = S^4 + S^3(\lambda'_1 + \lambda'_0 + \lambda''_0 + \lambda''_1) + \\ &S^2(\lambda'_0\lambda'_1 + \lambda''_0\lambda'_1 + \lambda'_1\lambda''_1 + \lambda'_0\lambda''_1) + S\lambda''_0\lambda'_1\lambda''_1 + S^3\mu + \\ &+ S^2(\lambda''_1\mu + \lambda'_1\mu + \lambda''_0\mu + \lambda'_0\mu) + S(\lambda'_1\lambda''_1\mu + \lambda''_0\lambda'_1\mu + \lambda'_0\lambda''_1\mu) = \\ &= S^4 + S^3(\lambda'_1 + \lambda'_0 + \lambda''_0 + \lambda''_1 + \mu) + S^2(\lambda'_0\lambda'_1 + \lambda''_0\lambda'_1 + \lambda'_1\lambda''_1 + \lambda'_0\lambda''_1 + \\ &+ \lambda''_1\mu + \lambda'_1\mu + \lambda''_0\mu + \lambda'_0\mu) + S(\lambda''_0\lambda'_1\lambda''_1 + \lambda'_1\lambda''_1\mu + \lambda''_0\lambda'_1\mu + \lambda'_0\lambda''_1\mu) \end{aligned} \quad (2)$$

Для определения значения определителя Δ можно вынести общий множитель S и ввести замену в формулу (2):

$$\begin{aligned} K &= \lambda'_1 + \lambda'_0 + \lambda''_0 + \lambda''_1 + \mu, \\ P &= \lambda'_0\lambda'_1 + \lambda''_0\lambda'_1 + \lambda'_1\lambda''_1 + \lambda'_0\lambda''_1 + \lambda''_1\mu + \lambda'_1\mu + \lambda''_0\mu + \lambda'_0\mu, \\ N &= \lambda''_0\lambda'_1\lambda''_1 + \lambda'_1\lambda''_1\mu + \lambda''_0\lambda'_1\mu + \lambda'_0\lambda''_1\mu. \end{aligned}$$

Исходя из выведенных выше постоянных величин k , p и n , формулу (2) можно записать в следующем виде:

$$\Delta = S[S^3 + KS^2 + PS + N] \quad (3)$$

Поскольку, μ_i и λ_i являются величинами третьего и четвертого порядка малости,

то их третьей составляющей можно пренебречь. Исходя из этого, формулу (3) можно представить в следующем виде:

$$\Delta = S^2[S^2 + KS + P] \quad (4)$$

Для дальнейшего решения системы можно разложить знаменатели отношений (6) [3]

на простые множители. Для этого формулу (4) запишем в следующем виде:

$$S^2(S^2 + KS + P) = 0. \quad (5)$$

Два первые корни формулы (5) можно представить в виде квадратного уравнения:

$S_1 = S_2 = 0$. Тогда составляющую формулы (5) в скобках можно записать в виде квадратного уравнения:

$$S_3 = -\frac{1}{2}(\lambda'_1 + \lambda'_0 + \lambda''_0 + \lambda''_1 + \mu) + \sqrt{\frac{1}{4}(\lambda'_1 + \lambda'_0 + \lambda''_0 + \lambda''_1 + \mu)^2 - (\lambda'_0\lambda'_1 + \lambda''_0\lambda'_1 + \lambda'_1\lambda''_1 + \lambda''_1\mu + \lambda'_1\mu + \lambda''_0\mu + \lambda'_0\mu)}. \quad (9)$$

То есть, дискриминантом уравнения является $P - \frac{K^2}{4}$, который для интенсивностей отказов и восстановлений принимает, как правило, отрицательное значение, а это приводит к двум действительным корням квадратного уравнения (6). Следующим шагом решения является обратная подстановка значений λ_i и μ_i в формулы (7) и (8).

$$S_4 = -\frac{1}{2}(\lambda'_1 + \lambda'_0 + \lambda''_0 + \lambda''_1 + \mu) - \sqrt{\frac{1}{4}(\lambda'_1 + \lambda'_0 + \lambda''_0 + \lambda''_1 + \mu)^2 - (\lambda'_0\lambda'_1 + \lambda''_0\lambda'_1 + \lambda'_1\lambda''_1 + \lambda''_1\mu + \lambda'_1\mu + \lambda''_0\mu + \lambda'_0\mu)}. \quad (10)$$

После нахождения корней уравнений получаем:

$$\Delta = (S - S_1)(S - S_2)(S - S_3)(S + S_4). \quad (11)$$

Тогда выражение для определения неизвестных можно представить в следующем виде:

$$\varphi(S) = \frac{K}{S - S_1} + \frac{P}{S - S_2} + \frac{N}{S - S_3} + \frac{Q}{S - S_4}, \quad (12)$$

где K, P, N, Q - неизвестные постоянные величины, которые удовлетворяют представленные равенства.

Подставив полученные при расчетах значения Δ и Δ_0 в первую формулу (6) [1], получим:

$$\varphi(S) = \frac{\Delta_0}{\Delta} = \frac{S(S + \lambda'_1)(S + \lambda''_1) + \mu(S + \lambda'_1)(S + \lambda''_1)}{S^2(S - S_3)(S - S_4)}. \quad (13)$$

После определения величин K, P, N и Q , входящих в аналитической зависимости (12), проведем обратные преобразования Лапласа:

$$P_0(t) = K_2(t) = K \exp(-S_1 t) + P \exp(-S_2 t) + N \exp(-S_3 t) + Q \exp(-S_4 t). \quad (14)$$

Зная, что значения корней S_1 и S_2 составляют $S_1 = S_2 = 0$, можно провести упрощение полученной выше аналитической зависимости. Подставим в зависимость (14) значения полученных постоянных K, P, N и Q , которые были установлены выше:

$$S^2(S^2 + KS + P) = 0. \quad (6)$$

Решением уравнения (6) будут:

$$S_3 = -\frac{k}{2} + \sqrt{\left(\frac{\hat{E}}{2}\right)^2 - p}, \quad (7)$$

$$S_4 = -\frac{k}{2} - \sqrt{\left(\frac{\hat{E}}{2}\right)^2 - p}. \quad (8)$$

$$\begin{aligned}
 P_0(t) = K_{\bar{a}}(t) = & \frac{\lambda_1' \lambda_1'' + \lambda_1'' \mu + \lambda_1' \mu}{S_3 S_4} + \\
 & + 1 - \frac{\lambda_1' \lambda_1'' + \lambda_1'' \mu + \lambda_1' \mu}{S_3 S_4} - \frac{-(\lambda_1'' + \lambda_1' + \mu) - S_4 + \frac{\lambda_1' \lambda_1'' + \lambda_1'' \mu + \lambda_1' \mu}{S_4}}{(S_3 + S_4)} \times \\
 & \times \exp(-S_3 t) + \frac{-(\lambda_1'' + \lambda_1' + \mu) - S_4 + \frac{\lambda_1' \lambda_1'' + \lambda_1'' \mu + \lambda_1' \mu}{S_4}}{(S_3 + S_4)} \exp(-S_4 t).
 \end{aligned} \tag{15}$$

На основе проведенных системных исследований получена аналитическая зависимость (15) для определения вероятности безотказной работы сложной системы «человек-машина» в любой момент времени t .

ВЫВОД

На основе проведенных исследований установлено, что вероятность безотказной работы системы «человек-машина» для периода «старения» машины и при снижении профессионально-психологического уровня оператора, при накоплении повреждений описывается нелинейной функцией.

ЛИТЕРАТУРА

1. Anatoliy Boyko. 2011: Teoreticheskiye issledovaniya nadezhnosti kukuruzoborochnoy tekhniki pri ispolzovanii rezervirovaniya / Anatoliy Boyko, Oleksandr Bondarenko, Kostyantyn Dumenko // Motoryzacia i energetyka rolnictwa. – Lublin. – Vol. 13A. – 131–138.
2. Boyko A.I. 2011: Issledovaniye nadezhno-sti kukuruzoborochnykh mashin pri ikh sta-renii, neizmennoy baze tekhnicheskogo obsluzhivaniya i ispolzovaniya passivnogo rezervirovaniya / A.I. Boyko, A.V. Bondarenko // Obshchegosudarstvennyy mezhvedomstvennyy nauchno-tekhnicheskii sbornik KNTU, - Kirovograd. - Vypusk 41, chast 1. - 154-161.
3. Boyko A.I. 2013: Matematichne modelyuvannya sistemi «lyudina-mashina» pri nakopichenni vidmov/ A.I. Boyko, A.V. Novitskiy // Visnik KhNTUSG im. Petra Vasilenka. – Kharkiv, KhNTUSG. – Vip. 134. – 75-79.
4. Boyko A.I. 2011: Stokhasticheskoye modelirovaniye raboty pnevmomekhanicheskaya vyse-

vayushchego apparata / A.I. Boyko, A.A. Bannyu // Nauchnyy vestnik NAU, seriya «Tekhnika i energetika APK» - K. - Vypusk 166, chast 1. - 112 - 118.

5. Boyko A.I. 2010: Ustanovleniye funktsii vosstanovleniya podsistem zernoborochnykh kombaynov v usloviyakh razvitiya sfery tekhnicheskogo obsluzhivaniya / A.I. Boyko, K.N. Dumenko // Vestnik LNAU. Agroinzhenernogo issledovaniya - Lvov. - T.1, № 14. - 12-20.

6. Boyko A.I. 2011: Vpliv operatora na nadiynist sistem «lyudina-mashina-seredovishche» (na prikladi zasobiv dlya prigotovannya i rozdavannya kormiv) / A.I. Boyko, A.V. Novitskiy, Z.V. Ruzhilo, A.Z. Ruzhilo // KhNTUSG im. Petra Vasilenka. – Kharkiv, KhNTUSG. – Vip. 114. – 103 – 108.

7. Boyko A.I. 2012: Problemi zabezpechennya nadiynosti suchasnoi skladnoi silskogospodarskoi tekhniki / A.I. Boyko, O.V. Bondarenko // Visnik Vinnitskogo natsionalnogo agrarnogo universitetu. Seriya: Tekhnichni nauki. - Vinnitsya. - Vipusk 11 (66). - 307 - 311.

8. Venttsel Ye.S. 1972: Issledovaniye operatsiy / Ye.S. Venttsel. – M.: Sovetskoye radio. – 552.

9. Golinkevich T.A. 1976: Prikladnaya teoriya nadezhnosti / T.A. Golinkevich. – M. Vysshaya shkola. – 160.

10. Gumenyuk V.M. 2010: Nadezhnost i diagnostika elektrotekhnicheskikh sistem: Ucheb. posobiye dlya vuzov / V.M. Gumenyuk. - Vladivostok: Izd-vo Dalnevost. gos. tekhn. un-ta. - 218.

11. Dzherald Sandler. 1966: Tekhnika nadezhnosti sistem / S. Dzherald; per. s angl. A.L. Raykina // Seriya «Teoreticheskiye osnovy tekhnicheskoy kibernetiki». – M., «Mir». – 300.

12. Druzhinin G.V. 1977: Nadezhnost avtomatizirovannykh sistem / G.V. Druzhinin. Izd. 3-e pererab. i dop. - M., «Energiya». – 536.
13. Lekhman S.D. 2011: Metodologiya doslidzhennya nebezpechnikh protsesiv pri funktsionuvanni yergativnykh sistem agrarno-go virobnitstva / S.D. Lekhman, M.V. Panfilova // Tekhnika ta yenergetika APK: zbirnik naukovikh prats NUBiPU. – K.: NUBiPU. – Vip. 166, ch. 1. – S. 294–301.
14. Nadezhnost tekhnicheskikh sistem: Spravochnik. 1985: / Yu.K. Belyayev, V.A. Bogatirev, V.V. Bolotin i dr.; pod red. I.A. Ushakova. – M.: radio i svyaz. – 608.
15. Nechiporenko V.I. 1977: Strukturnyy analiz sistem (effektivnosti i nadezhno-sti) / V.I. Nechiporenko. - M.: «Sovetskoye radio». - 211.
16. Raynshke K. 1979: Modeli nadezhnosti i chuvstvitelnosti sistem / K. Raynshke; per. s nem. B.A. Kozlova. - M., «Mir». – 454.
17. Rogovskiy I. 2012: Metodika prognozirovaniya ostatochnogo resursa mekhanizmov selskokhozyaystvennykh mashin \ I. Rogovskiy, O. Dubrovina // Motoryzacia i energetyka rolnictwa. – Lublin – Rzeszuw, Vol. 14 – No 3, 200-205.
18. Rogovskiy I.L. 2011: Vpliv pokaznikov nadiynosti na periodichnist tekhnichnogo obslugovuvannya silskogospodarskikh mashin / I.L. Rogovskiy // Motrol, motoryzacia i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture. – Lublin. – Vol. 13B. – 92 – 97.
19. Ushakov A.I. 2008: Kurs teorii nadezhnosti sistem / A.I. Ushakov // - M., DROFA. - 239.
20. Gennadiy Golub, Oleg Marus. 2011: Optimizatsiya parametriv mashin ta obladdannya Motrol Motoryzacja i energetyka rolnictwa Tom 13 B Lublin 15-17.

Key words: system, reliability, model, machine, operator, failure, restoration.

EVALUATION OF SYSTEM RELIABILITY «HUMAN-MACHINE», WHEN ACCUMULATION FAILURES

Summary. The developed stochastic model and conducted a systematic analysis of «human-machine» in accumulation of failures. The analytical dependence for determination of probability of failure of system during the «aging» of machine and reducing professional and psychophysical level operator.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ЖАТНЫХ МАШИННО-ТРАКТОРНЫХ АГРЕГАТОВ

Лилия Савченко

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15*

Lyliya Savchenko

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Достичь удовлетворительной управляемости жатного МТА с боковой навеской можно различными техническими средствами, связанными с совершенствованием как энергосредств, так и самой жатки. В статье с помощью математического аппарата описано работу регулятора и исполнительного гидромотора привода на полевое колесо жатки.

Ключевые слова: гидромотор, жатка, энергосредство, автоматическое управление.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Устойчивость движения жатных МТА играет важную роль при выполнении технологических операций сбора урожая в растениеводстве. Вообще от устойчивости движения зависит не только качество, но, в некоторых случаях, и возможность выполнения полевых работ. Так, от устойчивости движения зависит траектория и энергоёмкость перемещения МТА. Правоммерно предположить, что чем ближе реализуемая траектория приближается к желаемой, тем меньше путь проходит агрегат и тем меньше расход топлива и времени необходимо на его перемещения.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Обеспечение стабилизации движения жатных МТА с боковой навеской.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Идеальным движением МТА следует считать положение, когда жатка перемещается по полю рядом с энергоносителем (трактором) параллельными траекториями

близкими к прямой линии. При этом становятся минимальными энергозатраты на выполнение технологического процесса и перекаты агрегата.

Одним из эффективных способов реализации такой идеи может быть разработка управляемого привода на полевое колесо жатки. В этом случае колесо становится приводным с управляемым крутящим моментом.

Научный интерес в решении поставленной задачи связан с построением модели управляющего устройства, которое должно необходимым образом преобразовывать входные параметры возмущающих воздействий нагрузок в выходные показатели движения МТА. В качестве входного параметра автоматизированной управляющей системы по жатному агрегату может быть использован угол отклонения жатки φ (рис.1) от курсового направления движения энергосредства (трактора): 1-гидронасос трактора, 2 - гидромотор привода полевого колеса жатки; 3 - распределитель (регулятор) автоматической системы, 4-механическая система (измеритель) 5-датчик начального уровня отклонения. Необходимо, чтобы при увеличении этого угла по определенному закону менялся и исходный показатель управляющего устройства, что привело бы к повышению крутящего момента на полевом колесе жатки. Таким образом, автоматизированная система управления крутящим моментом должна анализировать общее движение жатного МТА с определением управляющего параметра - угла отклонения φ и обрабатывать входную информацию с выдачей необходимых параметров системы.

Такая система должна включать элементы управления (3 и 4), а также исполнительный орган в виде гидромотора (2). На первом этапе создания автоматической системы

необходимо установить ее структуру и определить основные параметры, с помощью которых организуется сам процесс управления. Составляющими системы автоматического управления движением жатного МТА (рис. 2) должны быть: гидромотор, измерительный элемент, регулирующий элемент.

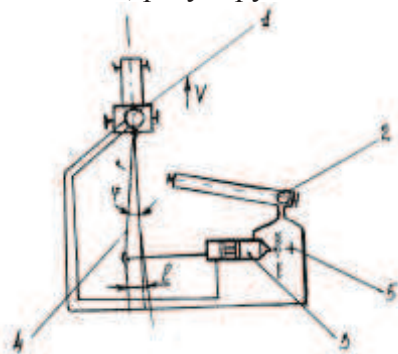


Рис. 1. Схема системы автоматического управления движением жатки с боковой навеской

Fig. 1. Scheme of system of automatic control of movement of a harvester with lateral

Согласно представленной схеме автоматическая система работает следующим образом. В результате разницы действий крутящего момента гидромотора и момента сопротивления перемещения жатки возникает ее отклонение от курсового направления движения МТА. Это отклонение через механическую рычажную систему передается на

шток распределителя, который перемещается в своем корпусе на определенную величину. Механическая система представляет собой измерительный элемент, который угловое перемещение жатки превращает в линейное перемещение штока распределителя. Кроме того, механическая система распределителя имеет возможность настройки на необходимый начальный уровень положения штока относительно корпуса. Этим достигается заданный уровень отклонения жатки.

Перемещением штока в гидрораспределителе регулируется подача жидкости W через пропускное отверстие. С увеличением проходного сечения отверстия увеличивается количество пропускаемой рабочей жидкости, которая подается в гидромотор. Это развивает в нем большой крутящий момент, который передается к ведущему полемому колесу жатки. В результате жатка увеличивает скорость перемещения по полю, что в свою очередь приводит к уменьшению угла отклонения ее относительно энергетического средства. Уменьшение угла отклонения соответственно уменьшает перемещения штока, что снижает подачу рабочей жидкости к гидромотору. Таким образом, процесс становится замкнутым и автоматически регулируемым на необходимом установленном уровне.

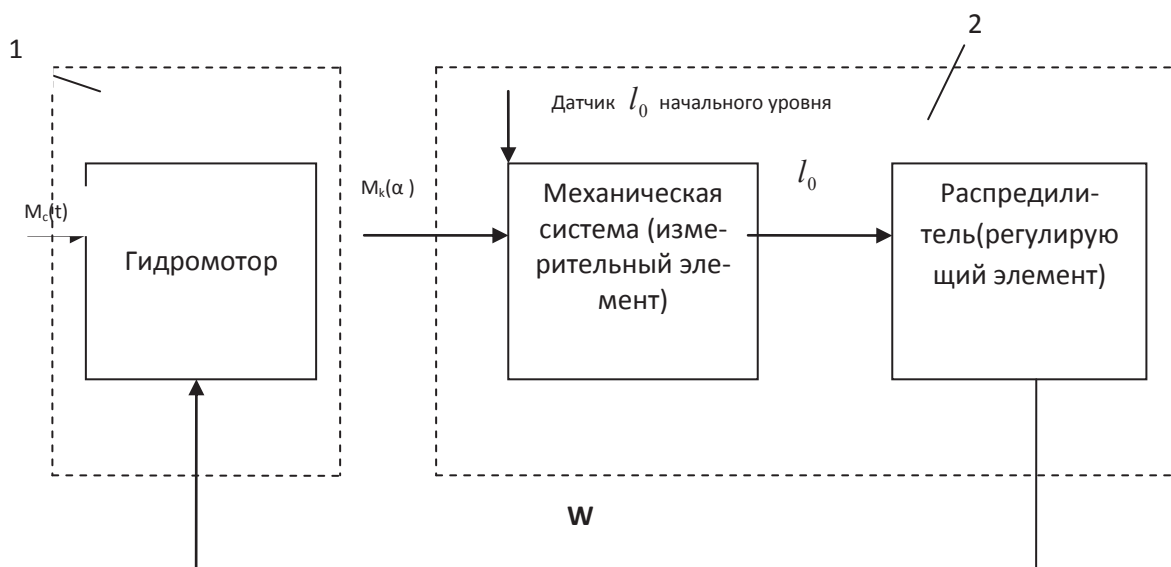


Рис. 2. Структурная схема организации автоматического управления движением жатного МТА: 1 - исполнительный орган, 2 - регулятор.

Fig. 2. Block diagramme of organisation of automatic control of movement MTA: 1 - executive of-fice, 2 - regulator.

Случайное влияние на перемещение жатки осуществляют силы сопротивления при перемещении колес по неровностям поля и сила сопротивления от хлебостоя. Обобщением для этих сил есть момент сопротивления $M_c(t)$, представляющий случайную функцию от времени.

Таким образом, объектом регулирования является гидромотор, а регулятором - механическая измерительная система, объединенная с гидравлической системой распределителя. В целом это замкнутая система, однако для математической формализации и описания ее работы необходим поэлементное рассмотрение составляющих. Более того, необходимо установить не только статические характеристики элементов, но и их динамические показатели, которые проявляются в переходные периоды изменений параметров.

Как видно на рисунке 2. регулятор 2 состоит из двух элементов: механической системы и распределителя - гидравлической системы. Такое разделение способствует лучшему математическому описанию их работы. Механическая система превращает угловое перемещение жатки вокруг центра навески до энергоносителя в продольное перемещение штока распределителя. Эта система представляет собой измерительный элемент преобразования углового движения на продольное прямолинейное. Не усложняя задачу с достаточной, для практических целей точностью при малых изменениях угла φ можно записать:

$$l = r \cdot \varphi, \quad (1)$$

где: r - радиус вращения точки присоединения штока.

Учитывая однозначное соответствие соотношений между параметрами механической цепи при любых нагрузках и действия случайных факторов, таких как момент сопротивления перемещения жатки $M_c(l)$ и незначительное влияние возможных зазоров в конструкции, а также упругих деформаций ее элементов, правомерно допустить сохранения статистической характеристики для динамических переходных процессов. Принимая обозначения, принятые в теории автоматических процессов, передаточное чис-

ло для механической системы можно записать:

$$l = k_1 \cdot \varphi, \quad (2)$$

где: $k_1 = r$ - передаточное число механической системы.

Целесообразно отметить, что рассматриваемая механическая цепь общего регулятора реализует безынерционное идеальное регулирование, и описывается как в статическом, так и в динамическом режиме простым алгебраическим уравнением. Произвольному угловому перемещению $\Delta\varphi$ данная механическая система, которая рассматривается, ставит в соответствие линейное перемещение безынерционных переходных периодов и задержек.

Перемещение штока l распределителя является входным параметром для гидравлической системы регулятора. Сущность его работы заключается в том, что благодаря перемещению l меняется объем рабочей жидкости, которая подается в гидромотор. Регулирование количества жидкости, в зависимости от перемещения штока распределителя, может быть организовано по-разному. Наиболее простым случаем изменение потока жидкости следует считать перекрытия золотниковой заслонкой проходного отверстия прямоугольной формы. Тогда, количество рабочей жидкости, проходящей через отверстие можно определить согласно уравнению:

$$W = S \cdot V_p, \quad (3)$$

где: S - площадь отверстия; V_p - скорость жидкости проходит через отверстие.

Площадь отверстия прямоугольной формы равна произведению:

$$S = l \cdot h, \quad (4)$$

Или подставляя (4) в (3) имеем:

$$W = l \cdot h \cdot V_p. \quad (5)$$

Таким образом, регулирующим элементом является гидравлическая система распределителя, в результате действия которой меняется поток жидкости, который направляется в гидромотор. Как известно, гидравлические системы есть инерционными. Поэтому более важную роль в описании их действий играют динамические переходные характеристики. Правомерно предположить,

что рассматриваемая гидравлическая система распределителя представляет собой звено с аperiodическим процессом реагирования на действие входного параметра, которым, в данном случае, является перемещение штока распределителя. Известно, что для такого звена правильным его описанием есть следующее дифференциальное уравнение [1, 2]:

$$\theta_p \frac{d}{dt}(W) + W = k_2 \cdot l, \quad (6)$$

где: θ_p – постоянная времени гидравлической системы распределителя;

k_2 - передаточное число гидравлической системы.

Подставляя значения расходов рабочей жидкости из уравнения (5) в (6) имеем:

$$\theta_p \cdot V_p \cdot h \cdot \frac{dl}{dt} + l \cdot h \cdot V_p = k_2 \cdot l \quad (7)$$

После превращений имеем:

$$\theta_p \cdot V_p \cdot h \cdot \frac{dl}{dt} + (hV_p - k_2) \cdot l = 0 \quad (8)$$

Полученное уравнение является обыкновенным дифференциальным уравнением первого порядка, решением которого является экспонента следующего вида:

$$l = \frac{k_2}{V_p \cdot h} \cdot l_c (1 - e^{-\frac{t}{\theta_p}}), \quad (9)$$

$$\text{Так как } l_c = \frac{W_c}{V_p \cdot h}, \quad (10)$$

$$\text{то } W_c = V_p \cdot h \cdot l_c. \quad (11)$$

То есть, коэффициент передачи численно равен:

$$k_2 = V_p \cdot h. \quad (12)$$

Он является статической характеристикой гидравлической системы. Постоянная времени θ_p определяет инерционные свойства звена. Чем она больше, тем дольше проходит переходный период установления выходного параметра (количества рабочей жидкости). На практике переходной период примерно составляет

$$t = 3 \cdot \theta_p, \quad (13)$$

а сама величина θ_p , характеризующая динамические свойства звена определяется из решения (9) дифференциального уравнения или экспериментальным путем.

Целесообразно заметить, что рассмотренная линейная связь между перемещением штока распределителя и количеством пропускаемой рабочей жидкости. Линейная зависимость этих параметров реализована через прямоугольную форму проходного отверстия и линейную форму заслонки. На практике, при необходимости, могут быть предложены и другие возможные решения изменения производительности рабочих отверстий в зависимости от перемещения штока. То есть, функция может быть выбрана такой, которая лучше удовлетворяет задачи регулирования потока рабочей жидкости. Вариации изменения потока жидкости, в зависимости от хода штока открывают конструктивные возможности выбора более или менее чувствительных регуляторов, расширяя или наоборот сужая зону регулирования.

Так как представленный регулятор состоит из механической части, реализующей идеальное регулирования и гидравлической, где наблюдается аperiodический закон регулирования, то в целом регулятор, независимо от положения звеньев есть также аperiodическим и выполняет закон регулирования с некоторым опозданием.

Уравнения динамики цепей (2) и (7) дают возможность составить общее уравнение динамики всего регулятора. В этом уравнении важно установить связь между изменением углового перемещения $\Delta\varphi$ и выходным параметром регулятора - изменением количества подаваемой на гидромотор рабочей жидкости ΔW .

Для этого из уравнения (2) подставим в уравнение (6) и получим:

$$\theta_p \frac{d}{dt}(\Delta W) + \Delta W = k_2 \cdot k_1 \cdot \Delta\varphi \quad (14)$$

Если ввести замену:

$$k_2 \cdot k_1 = k_{pez}, \quad (15)$$

где: k_{pez} –общий коэффициент передачи (усиления) регулятора, то можна записать

$$\theta_p \frac{d}{dt}(\Delta W) + \Delta W = k_{pez} \cdot \Delta\varphi \quad (16)$$

Полученное дифференциальное уравнение регулятора описывает его работу и характеризует неидеальность процесса регулирования. Из двух уравнений регулятора исключено промежуточную переменную - перемещение штока распределителя.

Таким образом, регулятор представляет собой аperiodическую систему первого порядка и является результатом присоединения

идеальной механической звена к аperiodической гидравлической.

Однако, как отмечалось ранее, автоматизированная система управления движением жатки является замкнутой, в которую, как исполнительный элемент входит гидромотор со своими характеристиками. Они должны быть выявлены и включены в общий комплекс, которым и является автоматическая система управления.

Гидромотор является исполнительным элементом системы, который превращает энергию рабочей жидкости, поступающей от распределителя (регулирующего элемента) в механическую энергию крутящего момента M , передается на полевое колесо жатки. Величиной приложенного крутящего момента к колесу определяется синхронность движения жатки и энергосредства, т.е. величина угла отклонения φ .

Гидромотор, как и любой двигатель, является позиционным, то есть цепью автоматизированной системы аperiodического действия первого порядка. Как и для распределителя (регулирующего элемента) для него характерно наличие переходных процессов между входным и выходными параметрами при их изменении. Динамика такой цепи может быть описана следующим дифференциальным уравнением.

$$\theta_r \frac{d}{dt}(M_k) + M_k = k_3 \cdot W, \quad (17)$$

где: k_3 - коэффициент передачи гидромотора,

Решение данного уравнения находится в виде:

$$M_k = M_{ky} \left(1 - e^{-\frac{t}{\theta_r}}\right), \quad (18)$$

где: M_{ky} - установившееся значение крутящего момента при завершении переходного процесса.

Правоммерно отметить, что в установившемся режиме справедливо соотношение.

$$M_{ky} = k_3 \cdot W_y \quad (19)$$

где: W_y - расход рабочей жидкости, что соответствует установившемуся значению крутящего момента МКС.

Правая часть уравнения характеризует изменение крутящего момента гидромотора, за счет смещения штока распределителя, а значит и изменения площади сечения подающего отверстия и, как следствие, изменения расхода рабочей жидкости при сохранении номинальной нагрузки при перемещении жатки.

Однако, в уравнение (17) не входят возмущающие нагрузки $M_c(t)$ от случайного сопротивления перемещения жатки по полю и выполнения рабочего процесса сбора урожая. Согласно упрощенному способу введения возмущающего действия можно принять, что при изменении случайной нагрузки на жатку $M_c(t)$ состоится смещение характеристики гидромотора (рис. 3).

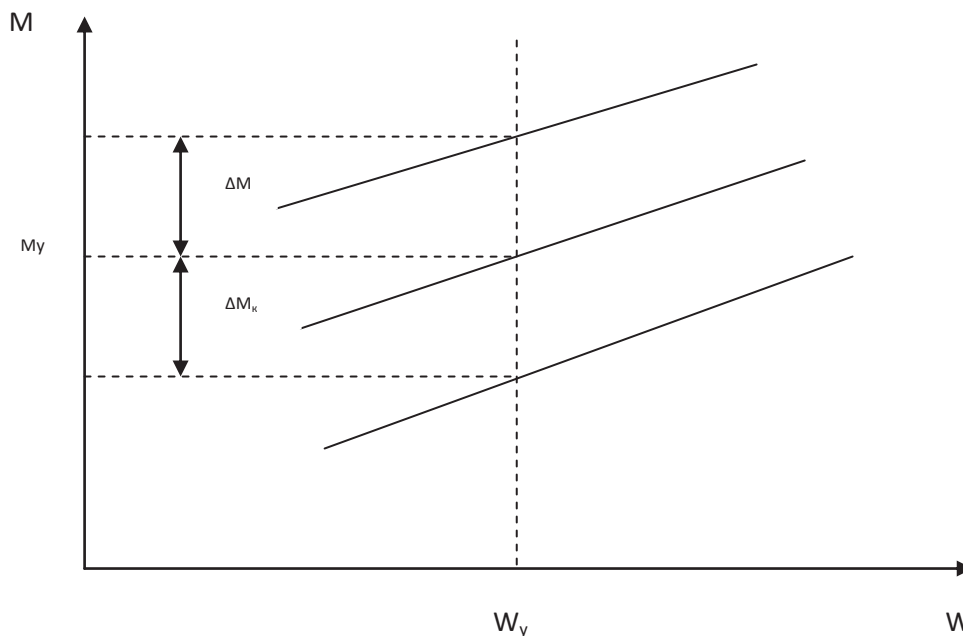


Рис. 3. Характеристика гидромотора
Fig. 3. Hydromotor characteristic

За счет этого изменяется и крутящий момент гидромотора на ΔM_k . Это смещение можно представить как влияние случайного нагружки на жатку. Есть

$$\Delta M_k = M_c(t), \quad (21)$$

Тогда можно ввести в правую часть уравнения (17) динамики гидромотора.

$$\theta_{\bar{i}} \frac{d}{dt}(M_k) + M_k = k_3 + M_c(t), \quad (22)$$

ВЫВОД

В результате получено дифференциальное уравнение динамики гидромотора, как объекта регулирования. Решение этого уравнения первого порядка возможно и целесообразно при разработке общей автоматизированной системы управления движением жатного машинного агрегата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kaloyev A.V. 1978: Osnovy proyektirovaniya sistem avtomaticheskogo vozhdeniya samokhodnykh mashin. – М.: Mashinostroyeniye. – 152.
2. Klyuyev A.S. 1986: Avtomaticheskoye regulirovaniye. – М.: Vysshaya shkola. – 351.
3. Boyko A.I. Savchenko L.A. 2010: Matematichne modelyuvannya dinamiki rukhu zhnivarnogo mashinno-traktornogo agregatu z bokovoyu naviskoyu.- Naukoviy visnik NUBiP.- №144. - 71-77.
4. Ageyev L.E. 1965: Vliyaniye skorosti dvizheniya na energozatraty i proizvoditelnost agregata. // Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva. – 33-34.
5. Avtonomov V.V. 1973: Issledovaniye po ustanovleniyu predelno dopustimogo buksovaniya kolesnogo traktora MTZ-52 pri poseve zernovykh kultur. Avtoref. dis... kand. tekhn. nauk.- Volgograd. - 26.
6. Blednykh V.V. 1973: Vliyaniye neravnomernosti relyefa polya na ustoychivost khoda polunavesnogo pluga.//V kn.: Pochvoobrabatyvayushchiye mashiny i dinamika agregatov. Trudy ChIMESKh Yuzhno-Uralskoye kN. Izdvo.- vyp.33. - 138-147.
7. Butenin N.V., Lunts Ya.Ya. 1972: Kurs teoreticheskoy mekhaniki. - М.: Nauka. - 463.

8. Barskiy I.B. 1973: Dinamika traktora.- М.: Mashinostroyeniye. - 279.
9. Bartakhanov P.B. 1965: Isledovaniya ustoychivosti dvizheniya i upravleniya kolesnogo agregata v usloviyakh ekspluatatsii.// V kn.: Nauchnyye osnovy povysheniya robochikh skoro-stey MTA.-М.: Kolos. - 14-16.
10. Bychkov N.I. 1981: Obosnovaniye skhem ag-regatirovaniya mashin.// Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva. – №6. - 26-29.
11. Voytyuk D.G., Gavriyuk G.R. 2008: Silskogospodarski mashini. - К.: Karavella, - 552.
12. Gabay Ye.V. 1983: Matematicheskaya model i analiz kachestva upravleniya napravleniyem dvizheniyem MTA s rassredotochennymi po shirine zakhvata aktivnymi kolesami.//V sb. Nauchnyye osnovy sozdaniya mobilnykh ener-geticheskikh sredstv (MES). Trudy NPO NATI. - М. - 20-22
13. Gyachev L.V. 1981: Ustoychivost dvizheniya selskokhozyaystvennykh mashin i agregatov.- Rostov na Donu. - 203.
14. Gelfenbeyn S.P. 1971: O kriteriyakh otsenki kachestva pakhoty po glubine.//Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya selskogo khozyaystva. - №7. - 48-51.
15. Tipovi normi virobitku i vitrachannya paliva na mekhanizovani polovi roboti. 1991: К.:Urozhay. - 472.
16. Kuznetsov Yu.I. 1978: Teoreticheskkiye predposylki ravnovesiya MTA s nesimmetrichnoy kryukovoy nagruzkoy v gorizontallyy ploskosti // Trudy VIM. – М. – Т. 82. –27-35.
17. Pozhidaev S.P., Shkarivskiy G.V. 1992: Pro deyaki shlyakhi pidvishchennya tochnosti rukhu prosapnogo agregatu z sharnirno-zyednanim traktorom // Mekhanizatsiya ta yelektrifikatsiya silskogo gospodarstva. - К.: Urozhay, vip.75.
18. Yevtenko V.G. 1979: Ustoychivost i tyagovo - energeticheskkiye pokazateli shirokoza-khvatnykh propashnykh agregatov // Mekhanizatsiya ta elektrifikatsiya selskogo khozyaystva. - К.: Urozhay. vyp.40.
19. Vasilenko P.M. 1954: Elementy teorii ustoychivosti dvizheniya pritsepnykh selskokhozyaystvennykh mashin i orudiy//Sb. trudov po zemledelcheskoy mekhanike. - М.: Selkhozgiz. - t. 2. - 5-12.
20. Merkin D.R. 1987: Vvedeniye v teoriyu ustoychivosti dvizheniya. - М.: Nauka. - 304.

21. Kolchin S.N. 1989: К вопросу о модульном построении широкозахватных с.х агрегатов // Агрегатирование с.х. техники. Труды ВИСХОМ. – Москва. – 25-27.

**DEVELOPMENT REGULATOR
AUTOMATED TRAFFIC CONTROL
SYSTEM MACHINE – TRACTOR
AGGREGATES**

Summary. Achieve satisfactory response machine - tractor aggregates Side linkage can be of various means of refining power machine, and most of header. The paper using mathematical tools to describe operation and control of executive motor of drive wheel on field header.

Key words: motor, reaper, power machine, automatic control.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПАССИВНО РЕЗЕРВИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ИСПРАВНОМ ОСНОВНОМ И ДУБЛИРУЮЩЕМ ЭЛЕМЕНТАХ

Анатолий Бойко¹, Александр Бондаренко², Виктор Савченко³

¹*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины*

Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15

²*Николаевский национальный аграрный университет*

Украина, г. Николаев, ул. Парижской коммуны, 9

³*Житомирский национальный агроэкологический университет*

Украина, г. Житомир, ул. Старый бульвар, 7

Anatoly Bojko¹, Alexander Bondarenko², Victor Savchenko³

¹*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine

²*Mykolayiv National Agrarian University*

Commune of Paris Str., 9, Mykolayiv, Ukraine

³*Zhitomir National Agroecological University*

Stariy Bulvar, 7, Zhitomir, Ukraine

Аннотация. В статье рассмотрена пассивно резервированная система работающая в режиме постепенного накопления повреждений. Установлены закономерности изменения основных показателей надежности, таких как вероятность безотказной работы и среднее время работы до отказа.

Ключевые слова: готовность к работе, средняя наработка на отказ, вероятность безотказной работы, модель надежности системы.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Резервирование является одним из наиболее эффективных методов повышения надежности технических систем. Более широкое его применение в машиностроении сдерживается необходимостью введения дополнительных элементов (запасных частей), способов и доступность периодических регулировок, а также заложенных в конструкцию возможностей восстановлений работоспособностей деталей в виде переточек, использование дополнительных рабочих граней и т.д. Другой причиной недостаточного применения пассивного резервирования является отсутствие научно-обоснованных рекомендаций по эффективному его использованию. На устранение указанного недостатков и направлена данная статья.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Предпосылкой для установления главных критериев надежности пассивно резервированной системы являются вероятности ее нахождения в том или другом целесообразно выбранном состоянии [6-9]. Величины таких вероятностей рассчитываются согласно правила Крамера [10, 11]:

$$\varphi_i(S) = \frac{\Delta_i}{\Delta}, \quad (1)$$

где: $\varphi_i(S) \leftrightarrow P_i(t)$ - вероятность i ^{го} состояния в превращениях Лапласа;

Δ_i - определитель системы уравнений (7) [1] для рассматриваемой неизвестной вероятности;

Δ - основной определитель этой же системы уравнений.

Выбор состояния системы и соответствующий ей определитель устанавливаются согласно поставленного задания исследований и ориентированы на тот или иной показатель надежности, который изучается. Однако, в любом случае необходимо найти решение определителя, который стоит в знаменателе формулы (1). Его величина находится из общей расширенной матрицы системы уравнений (7) [1] и составляет основную

матрицу, которая записывается следующим образом:

$$\Delta = \begin{vmatrix} S + \lambda_{00} & 0 & -\mu_{10} & 0 & 0 \\ -\lambda_{00} & S + \lambda_{0'0} & 0 & 0 & 0 \\ S & S & S & S & S \\ 0 & 0 & -\lambda_{10} & S + \lambda_{10'} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\lambda_{10'} & S + \mu_{11} \end{vmatrix} \quad (2)$$

Представленная матрица имеет пятый ранг и нуждается для дальнейшего решения в понижениях [12, 13].

Выполнив соответствующие математические операции понижения ранга, алгебраическими превращениями и приведения выражений, получим $\Delta = aS^5 + bS^4 + cS^3 + dS^2 + eS$, где:

Можно видеть, что постоянные при степенях неизвестной в основном зависят от величин λ, μ - характеристик (интенсивностей переходов). При этом коэффициент b содержит λ и μ в первой степени, c - во второй, а d - в третьей. То есть порядок значения коэффициентов следует считать близким к порядку величин λ и μ . Это является важным для установления возможностей упрощения выражений без существенной потери точности получаемых результатов для практики анализа надежности

$$a = 1;$$

$$b = (\mu_{11} + \lambda_{10'} + \lambda_{10} + \lambda_{0'0} + \lambda_{00} + \mu_{10});$$

$$c = (\lambda_{10'}\mu_{11} + \lambda_{10}\lambda_{10'} + \mu_{11}\lambda_{10} + \lambda_{0'0}\mu_{11} + \lambda_{0'0}\lambda_{10'} + \lambda_{0'0}\lambda_{10} + \lambda_{00}\mu_{11} + \lambda_{00}\lambda_{10'} + \lambda_{00}\lambda_{10} + \lambda_{0'0}\lambda_{0'0} - \mu_{10'}\mu_{11} + \mu_{10}\lambda_{10'} + \mu_{10}\lambda_{0'0});$$

$$* d = (\lambda_{0'0}\lambda_{10'}\mu_{11} + \lambda_{0'0}\lambda_{10}\lambda_{10'} + \lambda_{0'0}\mu_{11}\lambda_{10} + \lambda_{0'0}\lambda_{10'}\mu_{11} + \lambda_{00}\lambda_{10}\lambda_{10'} + \lambda_{00}\mu_{11}\lambda_{10} + \lambda_{00}\lambda_{0'0}\mu_{11} + \lambda_{00}\lambda_{0'0}\lambda_{10'} + \lambda_{00}\lambda_{0'0}\lambda_{10} - \mu_{10}\lambda_{00}\mu_{11} - \mu_{10}\lambda_{00}\lambda_{10'} + \mu_{10}\mu_{11}\lambda_{00} + \mu_{10}\lambda_{10'}\lambda_{00} + \mu_{10}\lambda_{10'}\mu_{11} + \mu_{10}\mu_{11}\lambda_{0'0} + \mu_{10}\lambda_{10'}\lambda_{0'0}); \quad (3)$$

$$e = (\lambda_{00}\lambda_{0'0}\lambda_{10'}\mu_{11} + \lambda_{00}\lambda_{10}\lambda_{0'0}\lambda_{10'} + \lambda_{00}\lambda_{0'0}\mu_{11}\lambda_{10} + \mu_{10}\lambda_{10'}\mu_{11}\lambda_{0'0}).$$

$$\Delta_{00} = S^4 + S^3 (\mu_{11} + \lambda_{10'} + \lambda_{10} + \lambda_{0'0} - \mu_{10}) +$$

$$+ S^2 (2\lambda_{10}\mu_{11} + \lambda_{10}\lambda_{10'} + \lambda_{0'0}\mu_{11} + \lambda_{0'0}\lambda_{10'} + \lambda_{0'0}\lambda_{10} - \mu_{10}\lambda_{10'} - \mu_{10}\lambda_{0'0} - \mu_{10}\mu_{11}) +$$

$$+ S (2\lambda_{0'0}\lambda_{10}\mu_{11} - \mu_{10}\lambda_{0'0}\lambda_{10'} - \mu_{10}\mu_{11}\lambda_{0'0}) - \mu_{10}\mu_{11}\lambda_{0'0}\lambda_{10'}$$

Таким образом, составляющие для нахождения вероятности первого работоспособного состояния определены и подставляя их согласно формулы (1) для состояния "00" имеем:

рассматриваемых пассивно резервированных систем.

Если пренебречь величинами интенсивностей отказов при трехкратном и более их перемножении, как величинами высокого порядка малости, получим значительное упрощение математических выражений для нахождения решения матрицы.

$$\text{Тогда имеем: } \Delta = aS^5 + bS^4 + cS^3.$$

Откуда запишем:

$$\Delta = S^3 (aS^2 + bS + c) \quad (4)$$

Числитель отношения (1) для установления вероятности полностью работоспособного состояния $\varphi_{00}(S)$ находится из основной матрицы путем подстановки столбца свободных членов расширенной матрицы (7) [1] в столбец искомой вероятности состояния "00". Тогда имеем

$$\Delta_{00} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & -\mu_{10} & 0 & 0 \\ 0 & S + \lambda_{0'0} & 0 & 0 & 0 \\ 1 & S & S & S & S \\ 0 & 0 & -\lambda_{10} & S + \lambda_{10'} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\lambda_{10'} & S + \mu_{11} \end{vmatrix}$$

Решение полученного выражения приводит к следующему определителю:

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ
ПАССИВНО РЕЗЕРВИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ИСПРАВНОМ ОСНОВНОМ
И ДУБЛИРУЮЩЕМ ЭЛЕМЕНТАХ

$$\varphi_{00}(S) = \frac{\begin{pmatrix} S^4 + S^3(\mu_{11} + \lambda_{10'} + \lambda_{10} + \lambda_{0'0} - \mu_{10}) + \\ + S^2(2\lambda_{10}\mu_{11} + \lambda_{10}\lambda_{10'} + \lambda_{0'0}\mu_{11} + \lambda_{0'0}\lambda_{10'} + \lambda_{0'0}\lambda_{10} - \mu_{10}\lambda_{10'} - \mu_{10}\lambda_{0'0} - \mu_{10}\mu_{11}) + \\ + S(2\lambda_{0'0}\lambda_{10}\mu_{11} - \mu_{10}\lambda_{0'0}\lambda_{10'} - \mu_{10}\mu_{11}\lambda_{0'0}) - \mu_{10}\mu_{11}\lambda_{0'0}\lambda_{10'} \end{pmatrix}}{aS^5 + bS^4 + cS^3 + dS^2 + eS}. \quad (5)$$

Однако, эта вероятность получена в виде отображения в превращениях Лапласа и для перехода к оригиналу нуждается в соответствующих математических операциях. Такой переход становится возможным, если функцию вероятности представить в виде суммы простых дробей [2, 14]

$$\varphi_{00}(S) = \frac{A_{00}}{S - S_1} + \frac{B_{00}}{S - S_2} + \frac{C_{00}}{S - S_3} + \frac{D_{00}}{S - S_4} + \frac{E_{00}}{S - S_5}, \quad (6)$$

где: $A_{00}, B_{00}, C_{00}, D_{00}, E_{00}$ - введенные неизвестные постоянные величины, которые необходимо определить для обратного превращения Лапласа; S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 - корни правой части уравнения (4). Корни находятся из уравнения (4) следующим образом: $S^3(aS^2 + bS + c) = 0$.

Очевидно, что $S_1 = S_2 = S_3 = 0$, а S_4 и S_5 получаются в следствие решения квадратного уравнения, которое находится в скобках согласно известной формуле [3]

$$S_{4,5} = -\frac{b}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{b}{2}\right)^2 - c}. \quad (7)$$

Для определения введенных дополнительных постоянных величин проведем сравнение в эквивалентности числителей выражений (5) и (6). При равенстве знаменателей эквивалентность полиномов числителей возможна как результат равенства коэффициентов при одинаковых степенях неизвестной. После введения замены $A_{00} + B_{00} + C_{00} = \mathcal{K}_{00}$ представляется возможным записать дополнительную систему из трех уравнений

$$\begin{cases} \mathcal{K}_{00} + E_{00} = 1; \\ (\mathcal{K}_{00} + D_{00})S_5 - (\mathcal{K}_{00} + E_{00})S_4 = \mu_{11} + \lambda_{10'} + \lambda_{10} + \lambda_{0'0} - \mu_{10}; \\ -\mathcal{K}S_4S_5 = L, \end{cases}$$

где: $L = 2\lambda_{10}\mu_{11} + \lambda_{10}\lambda_{10'} + \lambda_{0'0}\mu_{11} + \lambda_{0'0}\lambda_{10'} + \lambda_{0'0}\lambda_{10} - \mu_{10}\lambda_{10'} - \mu_{10}\lambda_{0'0} - \mu_{10}\mu_{11}$.

Полученная система решается методом последовательной подстановки. Из третьего уравнения запишем $\mathcal{K}_{00} = -\frac{L}{S_4S_5}$. Подставляя в первое уравнение решаем его относительно

$$E_{00}: E_{00} = 1 - \frac{L}{S_4S_5}. \text{ Из второго уравнения получим: } (\mathcal{K}_{00} + D_{00})S_5 - S_4 = \mu_{11} + \lambda_{10'} + \lambda_{10} + \lambda_{0'0} - \mu_{10}.$$

$$\text{Откуда } D_{00} = \frac{\mu_{11} + \lambda_{10'} + \lambda_{10} + \lambda_{0'0} - \mu_{10} + S_4 - \frac{L}{S_4}}{S_5}.$$

Таким образом постоянные величины $\mathcal{K}_{00}, D_{00}, E_{00}$ определены и можно провести обратное превращение Лапласа от изображений к оригиналам. Тогда имеем

$$P_{00}(t) = \mathcal{K}_{00} + D_{00} \exp(-S_4 t) + E_{00} \exp(-S_5 t)$$

Подставляя значения постоянных величин запишем

$$P_{00}(t) = -\frac{L}{S_4S_5} + \frac{1}{S_5} \left(\mu_{11} + \lambda_{10'} + \lambda_{10} + \lambda_{0'0} - \mu_{10} + S_4 - \frac{L}{S_4} \right) \exp(-S_4 t) + \left(1 - \frac{L}{S_4S_5} \right) \exp(-S_5 t) \quad (8)$$

Анализируя полученный результат следует заметить, что значение вероятности $P_{00}(t)$ определяется тремя слагаемыми. Их

знаки зависят от тех составляющих, которые входят в них, но общая величина вероятности не должна превышать единицу, которая является нормируемым условием. Анализ результата усложняется неизвестными λ, μ - характеристиками, которые входят как непосредственно в саму формулу (8), так и в замену L , а также корни S_4 и S_5 . По этому в данном исследовании можно провести только предварительный качественный анализ изменения вероятности работоспособного состояния "00" от времени эксплуатации технической системы. Очевидным является то, что первая составляющая независимо от ее знака есть некоторая постоянная величина, которая в зависимости от знака сопряженных корней S_4 и S_5 смещает общую зависимость $P_{00}(t)$ вверх или вниз по оси ординат. В следствие принятых начальных условий функционирования технической системы, при $t=0$, вероятность полностью работоспособного состояния "00" должна быть равная единице. Однако подстановка времени $t=0$ в уравнение (8) после сокращения дает дополнительную поправку к вероятности. В тоже время анализ выявленной некорректности

$$\frac{1}{S_5} \left(\mu_{11} + \lambda_{10'} + \lambda_{10} + \lambda_{0'0} - \mu_{10} + S_4 - \frac{L}{S_4} \right)$$

показывает, что при подстановке корня S_4 и показателя L с соответствующими знаками приводит к существенным сокращениям, а остаточные члены соизмеримы тем величинам, которые были приняты как несущественные при упрощении решения определителей главной матрицы и матрицы исследуемого состояния "00". Таким образом, с учетом указанных поправок для уравнения (8) можно записать

$$P_{00}(t=0) \approx 1$$

Анализ поведения функции вероятности для состояния системы "00" при времени эксплуатации $t \rightarrow \infty$ показывает, что увеличение времени уменьшает вероятность по

$$* P_{00}(t \rightarrow \infty) = \frac{1}{S_4 S_5} (2\lambda_{10} \mu_{11} + \lambda_{10} \lambda_{10'} + \lambda_{0'0} \mu_{11} + \lambda_{0'0} \lambda_{10'} + \lambda_{00} \lambda_{10} - \mu_{10} \lambda_{10'} - \mu_{10} \lambda_{0'0} - \mu_{10} \mu_{11})$$

экспоненциальному закону. Финальной вероятностью в этом случае есть.

$$P_{00}(t \rightarrow \infty) = \mathcal{K}_{00}$$

Или, на основании полученного ранее значения постоянной \mathcal{K}_{00} можно записать:*

Таким образом, проведенным анализом установлено, что общий характер изменения вероятности основного работоспособного состояния "00" пассивно дублированной системы описывается двойным экспоненциальным законом, график которого представлен на рис. 1.

Конкретная форма кривой во многом зависит от соотношений λ и μ - характеристик, которые входят в уравнение. Двойная экспоненциальная зависимость способствует замедлению потери работоспособности системой при введенные дублированного элемента.

Полученная вероятность безотказной работы $P_{00}(t)$ является характеристикой безотказности пассивно резервируемой системы с учетом старения элементов в процессе эксплуатации.

Вторым важным критерием надежности такой системы является ее средний наработка в состоянии полной работоспособности.

Исходя из известного определения среднего наработка на отказ через вероятность безотказной работы [4, 5, 16, 17] запишем: $\bar{T} = \int_0^{\infty} P(t) dt$. Предметно к решаемого заданию

по определению среднего наработка в работоспособном состоянии "00" можно записать: $\bar{t} = \int_{t_1}^{t_2} P_{00}(t) dt$. Интервал времени $t_2 - t_1$,

для установления среднего значения наработка на отказ целесообразно выбирать по завершению периода приработки системы и входа ее в режим эксплуатации, когда процессы старения, которые связаны с последующей потерей работоспособности, начинают себя постепенно проявлять [18, 19].

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ
ПАССИВНО РЕЗЕРВИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ИСПРАВНОМ ОСНОВНОМ
И ДУБЛИРУЮЩЕМ ЭЛЕМЕНТАХ

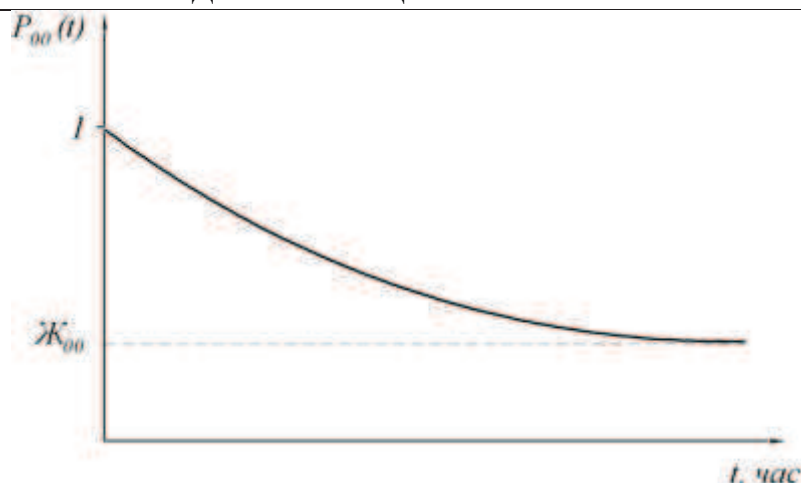


Рис. 1. Изменение вероятности нахождения пассивно дублированной системы в полностью работоспособном состоянии от времени эксплуатации.

Fig. 1. Changing the probability of finding passively duplicated system shall operate in full condition from time of operation.

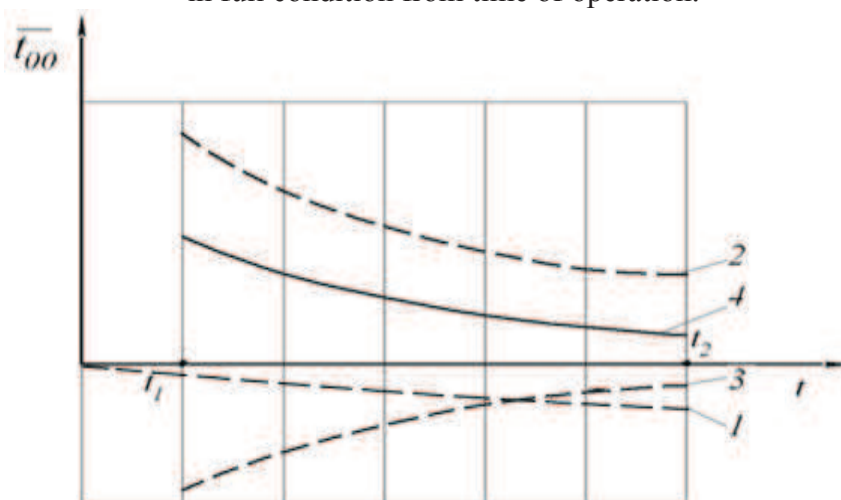


Рис. 2. Зависимость изменения времени нахождения системы в полном работоспособном состоянии "00" от времени ее эксплуатации: 1 – первая составляющая уравнения (9); 2 – вторая составляющая; 3 – третья составляющая; 4 – суммарная результирующая зависимость.

Fig. 2. Dependence of change of time finding the system in full state shall operate from time of its operation: 1 - first part of equation (9), 2 - the second part, 3 - the third component, 4 - total resultant dependence.

Подставляя значение вероятности из выражения (8) имеем:

$$\begin{aligned} \overline{t_{00}} = & \int_{t_1}^{t_2} \left[-\frac{L}{S_4 S_5} + \frac{1}{S_5} \left(\mu_{11} + \lambda_{10'} + \lambda_{10} + \lambda_{0'0} - \mu_{10} + S_4 - \frac{L}{S_4} \right) \exp(-S_4 t) + \right. \\ & \left. + \left(1 - \frac{L}{S_4 S_5} \right) \exp(-S_5 t) \right] dt \end{aligned}$$

Представим уравнение как сумму и вынося постоянные за знак интеграла запишем:

$$\begin{aligned} \overline{t_{00}} = & -\frac{L}{S_4 S_5} \int_{t_1}^{t_2} dt + \frac{1}{S_5} \left(\mu_{11} + \lambda_{10'} + \lambda_{10} + \lambda_{0'0} - \mu_{10} + S_4 - \frac{L}{S_4} \right) \int_{t_1}^{t_2} e^{-S_4 t} dt + \\ & + \left(1 - \frac{L}{S_4 S_5} \right) \int_{t_1}^{t_2} e^{-S_5 t} dt \end{aligned}$$

Откуда:

$$\overline{t_{00}} = -\frac{L}{S_4 S_5} t \Big|_{t_1}^{t_2} + \frac{1}{S_5} \left(\mu_{11} + \lambda_{10'} + \lambda_{10} + \lambda_{0'0} - \mu_{10} + S_4 - \frac{L}{S_4} \right) \left(-\frac{1}{S_4} \right) e^{-S_4 t} \Big|_{t_1}^{t_2} + \left(1 - \frac{L}{S_4 S_5} \right) \left(-\frac{1}{S_5} \right) e^{-S_5 t} \Big|_{t_1}^{t_2}. \quad (9)$$

Анализ уравнения усложнен неизвестными значениями λ , μ – характеристик интенсивностей переходов, которые могут быть получены в экспериментальном или статистическом исследовании конкретной пассивно дублированной системы. Однако для качественного анализа результата построены наиболее реально возможные зависимости влияния каждой из составляющих уравнения (9) на общий результат и определена суммарная кривая изменения среднего времени пребывания системы в полностью работоспособном состоянии $\overline{t_{00}}$. Соответствующая графика изображена на рис. 2.

Как видно из обобщающего графика (кривая 4) среднее время нахождения системы в полностью работоспособном состоянии "00", когда исправные как основной, так и резервный элементы, постепенно снижается. Это соответствует физической сущности поставленной задачи исследования системы, которая по мере эксплуатации стареет теряя свою работоспособность.

ВЫВОДЫ

1. Пассивно дублированная техническая система, теряющая свою работоспособность в результате старения имеет показатели надежности, зависящие от времени эксплуатации согласно двойного экспоненциального закона.

2. Предельным значением вероятности безотказной работы системы в состоянии, когда как основной, так и дублирующий элементы исправны, служит финишное (асимптотическое) значение данной вероятности.

3. Средняя наработка на отказ системы складывается из трех составляющих, одна из которых линейно зависит от времени экс-

плуатации, а две другие изменяются по экспоненте.

ЛИТЕРАТУРА

1. Boyko A.I., Bondarenko A. V., Savchenko V.N. 2013: Matematicheskaya formalizatsiya opisaniya sostoyaniy i perekhodov passivno rezerviruyemykh tekhnicheskikh sistem. Vestnik Kharkovskogo natsionalnogo tekhnicheskogo universiteta selskogo khozyaystva im. P. Vasilenka. Vypusk №133 Resursosberegayushchiye tekhnologii, materialy i oborudovaniye v remontnom proizvodstve. Kharkov. 216-220.
2. Ushakov N.A. 2008: Kurs teorii nadezhno-sti sistem. M.: "Drofa". – 240.
3. Bronshteyn I.N., Semendyayev K.A. 1967: Spravochnik po matematiki. M.: "Nauka". – 608.
4. Polovko A.M., Gurov S.V. 2006: Osnovy teorii nadezhnosti. Sankt-Peterburg "BKhV-Peterburg". – 703.
5. Pronikov A.S. 1978: Nadezhnost mashin. M.: "Mashinostroyeniye". – 591.
6. Polovko A.M., Gurov S.V. 2006: Osnovy teorii nadezhnosti (praktikum). Sankt-Peterburg.: "BKhV-Peterburg". – 559.
7. Faranzhi G.N. 1971: Otsenka nadezhnosti vosstanavlivayushchikh sistem. Problemnyye voprosy teorii i praktiki nadezhnosti. M.: «Sovetskoye radio». – 205.
8. Cherkesov G.N. 1987: Metody i modeli otsenki zhivuchesti slozhnykh sistem. M.; «Znaniya». – 36.
9. Shubinskiy I.B., Gurov S.V., Utkin L.V. 1995: Metody otsenki nadezhnosti vosstanavlivayemykh sistem s vozmozhnymi narusheniyami grupp sostavnykh elementov // Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii. Vyp №3 (161). Sankt-Peterburg. 190.
10. Nadezhnost tekhnicheskikh sistem. 1985: Spravochnik pod red. I.A. Ushakova. M.: «Radio i svyaz». – 606.

11. Rudenko Yu.N., Ushakov I.A. 1986: Nadezhnost sistem energetiki. M.: «Nauka». – 251.
12. Golovina L.I. 1975: Lineynaya algebra i nekotoryye yeye prilozheniya. M.: «Nauka». – 407.
13. Gusak A.A., Gusak G.N. 1991: Spravochnik po vysshey matematike. Minsk: «Navuka i tekhnika». – 480.
14. Ushakov I.A. 1970: Inzhenernyye metody rascheta nadezhnosti. Vyp. IV. M.: «Znaniye». – 91.
15. Vygodskiy M.Ya. 1976: Spravochnik po elementarnoy matematike. M.: «Nauka». – 335.
16. Braude V.I., Semenov L.N. 1986: Nadezhnost pod'yemno-transportnykh mashin. Leningrad: «Mashinostroyeniye». – 183.
17. Leontyev L.P. 1963: Vvedeniye v teoriyu nadezhnosti radioelektronnoy apparatury. Riga. – 190.
18. Garkunov D.N. 1985: Tribotekhnika. – M.: «Mashinostroyeniye». – 424.
19. Reshetov D.N. 1974: Rabotosposobnost i nadezhnost detaley mashin. M.: «Vysshaya shkola». – 205.
20. Anatoliy Boyko. 2011: Teoreticheskiye issledovaniya nadezhnosti kukuruzoubochnoy tekhniki pri ispolzovanii rezervirovaniya / Anatoliy Boyko, Oleksandr Bondarenko, Kostyantyn Dumenko // Motoryzacia i energetyka rolnictwa. – Lublin. – Vol. 13A. – 131–138.

**STUDY OF DYNAMICS OF CHANGE
OF RELIABILITY INDICES PASSIVE
SYSTEM REDUNDANCY WITH INTACT
PRIMARY AND BACKUP ELEMENTS**

Summary. The paper describes passive redundant system is in gradual accumulation of damage. The regularities of changes in basic reliability indices such as probability of failure-free operation and mean time to failure.

Key words: willingness to work, average recourse to failure, probability of failure of model system reliability.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МЕХАНИЗМОВ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Александр Быстрый, Иван Роговский

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15

Alexander Bystryj, Iwan Rohovsky

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Heroiv Oborony Str., 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Разработана математическая модель и проведён анализ системы определение рационального количества технического контроля механизмов зерноуборочного комбайна.

Ключевые слова: надёжность, модель, машина, отказ.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Созданная в НУБиП Украины «Методика разработки средств и технологии технического контроля зерноуборочных комбайнов» является руководящим материалом для научно-исследовательских и производственных предприятий в области ремонтно-технологического обеспечения технической сельскохозяйственных машин. В этих методических указаниях по прогнозированию технического ресурса машин рассматриваются вопросы разработки средств; обоснования структурных, ресурсных и диагностических средств составления технологии для машин, работающих продолжительное время или круглый год. Для сельскохозяйственных машин, которые большую часть времени года находятся на хранении (время хранения в 15 раз больше занятости в работе), необходим несколько иной методический подход.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Известно, что продолжительное время хранения техники вносит свои коррективы в показатели ее надежности [1-5]. В принципе возможен случай, когда неиспользуемая сельхозмашина (находясь на хранении, отдельные ее элементы могут оказаться неисправными) имеет отказы [6-11]. Таким образом, исправность сельхозмашины не определяется ее наработкой в той мере, в какой

это наблюдается у машин, используемых круглый год [12-14]. Если у последних основной характеристикой являются износные отказы, а случайные отказы незначительны (в предлагаемой методике они не учитываются), то для первой они играют существенную роль и не учитывать их нельзя [15-17]. Еще необходимо учитывать, что часто сельхозмашины не набирают до отказа в течение даже нескольких сезонов, поэтому при обосновании ресурсных параметров требуется очень продолжительное время наблюдений [18-20]. В связи с этим при оценке надежности элементов сельхозмашин следует принимать во внимание не только износные отказы, но и случайные, вызванные старением машины, коррозионным поражением и другими факторами [21].

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целесообразно рассчитывать вероятности отказов с учетом отказов во время эксплуатации и во время ремонта. Для расчета значений вероятностей отказов предлагается следующий порядок.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В первую очередь определяется вероятность замены деталей механизма во время эксплуатации на основании статистических материалов по формуле:

$$P_{zi} = \frac{v_i}{B}, \quad (1)$$

где: v_i - количество замененных i -х деталей; B - количество обоснованных механизмов.

Затем выявляются структурные параметры, т.е. элементы, определяющие ресурс каждой детали, с помощью вероятностей появления неисправностей по функции распре-

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА
ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МЕХАНИЗМОВ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

деления износа на основании данных микрометража деталей при ремонте по формуле:

$$P_{ui} = 1 - \int_0^{xDi} \varphi(x_i) dx, \quad (2)$$

где: $\varphi(x_i)$ - функция плотности распределения износа; xDi - допустимое значение i -го износа i -х детали.

На следующем этапе рассчитываются вероятности отказов выявленных структурных параметров коробок передач во время эксплуатации. Для этого определяется вероятность появления неисправности детали по формуле:

$$P_{uq} = \sum_{i=1}^n P_{ui}, \quad (3)$$

где: P_{uq} - вероятность появления неисправности в детали, определяемая i -ми структурными параметрами.

В последующем рассчитывается вероятность отказа элемента во время эксплуатации от неисправности одного из структурных параметров:

$$P = \frac{P_{zi} P_{ui}}{P_{uq}}. \quad (4)$$

После определения вероятностей появления неисправности и вероятности отказа элемента во время эксплуатации рассчитывается фактическая вероятность отказа структурного параметра по формуле Бейеса:

$$P_{\varphi i} = \frac{P_{zi} P_{ui}}{\sum P_{zi} P_{ui}}. \quad (5)$$

Значимость элемента, т.е. необходимость измерения диагностического параметра, определяется по научно обоснованным критериям, для расчета которых целесообразно использовать работы [1, 4]. В этих работах рекомендуется определять верхний и нижний пределы вероятностей отказов на основании экономической целесообразности диагностирования по формулам:

$$P = \frac{\eta_n d - \delta_q \eta_o}{\eta_q d + \delta_q \eta_o}, \quad (6)$$

$$P_n = \frac{\delta_q \eta + \eta_n}{\delta_q \eta_o d + \eta_n}; \quad (7)$$

$$\delta_q = \frac{D_q E_q}{N_q} + (C_{z,q} + C_{o,q}); \quad (8)$$

$$\delta_q = \frac{C_{c,z} - C_{c,p} + C_n}{C_{c,c}}. \quad (9)$$

где: $C_z, C_{c,p}, C_n, C_{c,c}, C_{z,q}, C_{o,q}$ - удельные затраты соответственно на ремонт объекта в сезон эксплуатации, на разборку-сборку объекта, не подлежащего ремонту, потери от простоев машины в период ее использования, на разборную дефектовку исправных объектов, на зарплату диагностам, техническое обслуживание диагностических средств; D_q - стоимость безразборных средств контроля; N_q - количество отказов, подлежащих проверке; E_q - установленные согласно срокам службы нормы амортизационных отчислений; α - коэффициент, учитывающий увеличение срока службы за счет соответствующих мероприятий диагностики; η, η_o, η_n - коэффициенты: первый определяет долю комбайнов из всего парка, подлежащих диагностированию; второй и третий - долю комбайнов соответственно с явно выраженными неисправностями и явно исправных. Коэффициенты связаны между собой соотношением:

$$\eta = (\eta_o + \eta_n) - 1. \quad (10)$$

В свою очередь:

$$\eta_o = 1 - (\eta_{o1} + \eta_{o2}); \quad (11)$$

$$\eta_n = 1 - (\eta_{n1} + \eta_{n2}), \quad (12)$$

где: η_{o1} и η_{o2} - коэффициенты, определяющие соответственно количество комбайнов, подлежащих списанию и поступающих с поля с явно отказывающимися агрегатами; η_{n1} и η_{n2} - коэффициенты, определяющие количество комбайнов соответственно проработавших первый год службы и замененных новыми или во время последнего ремонта.

Методика выполнения контролируемых параметров была определена из следующих соображений.

Механизм состоит из определенного количества сопряжений и деталей (элементов), с каждой из которых в момент диагностирования вероятность появления неисправностей равна P_i ; неисправность обычно не появляется в одном элементе, а охватывает несколько элементов. Используем это обстоятельство для определения рационального количества диагностических параметров. Допустим, что в результате проверки механизма по параметрам M_1 его определенная часть

с вероятностью P_1 требует отправки на ремонт; вместе с ним будут отправлены на ремонт механизмы с неисправностями других элементов, и эти механизмы будут диагностированы по остальным неисправностям уже меньше на величину совместного проявления неисправностей ($P_1 P_i$). Если продолжить рассуждение, можно прийти к выводу, математически описываемому следующей формулой:

$$P_{oi} = P_i - P_1 P_i. \quad (13)$$

Для общего случая проверяемый параметр обозначим P_k . Когда осуществляется не одна, а несколько проверок, остаточная вероятность элемента P_{oi} будет снижена на сумму всех совместных вероятностей отказов проверяемых и непроверяемых элементов или в общем виде формулу (1) необходимо записать так:

$$P_{oi} = P_i - \sum_{k=1}^n P_k P_i, \quad (14)$$

где P_{oi} - значение остаточной вероятности отказа i -го структурного параметра после

отправки на ремонт механизмов по K -му элементу, вероятность которого P_k .

Сравнивая полученные остаточные вероятности отказов с нижней предельной вероятностью, находим, что после определенного количества проверок значение их будут меньше последней, т.е. назначать проверку по экономическим критериям нецелесообразно. В этом случае больше контролируемых параметров не назначается.

Схема поиска наименований, последовательности и количества диагностических параметров изображена на рисунке. Она отражает порядок выполнения расчетных операций исходя из условия, что для определения количества проверок необходимо знать остаточные и предельные вероятности. В свою очередь, для определения остаточных вероятностей нужно знать вероятности отказов и состояние их на ремонте; значимость их определяется по предельным вероятностям.

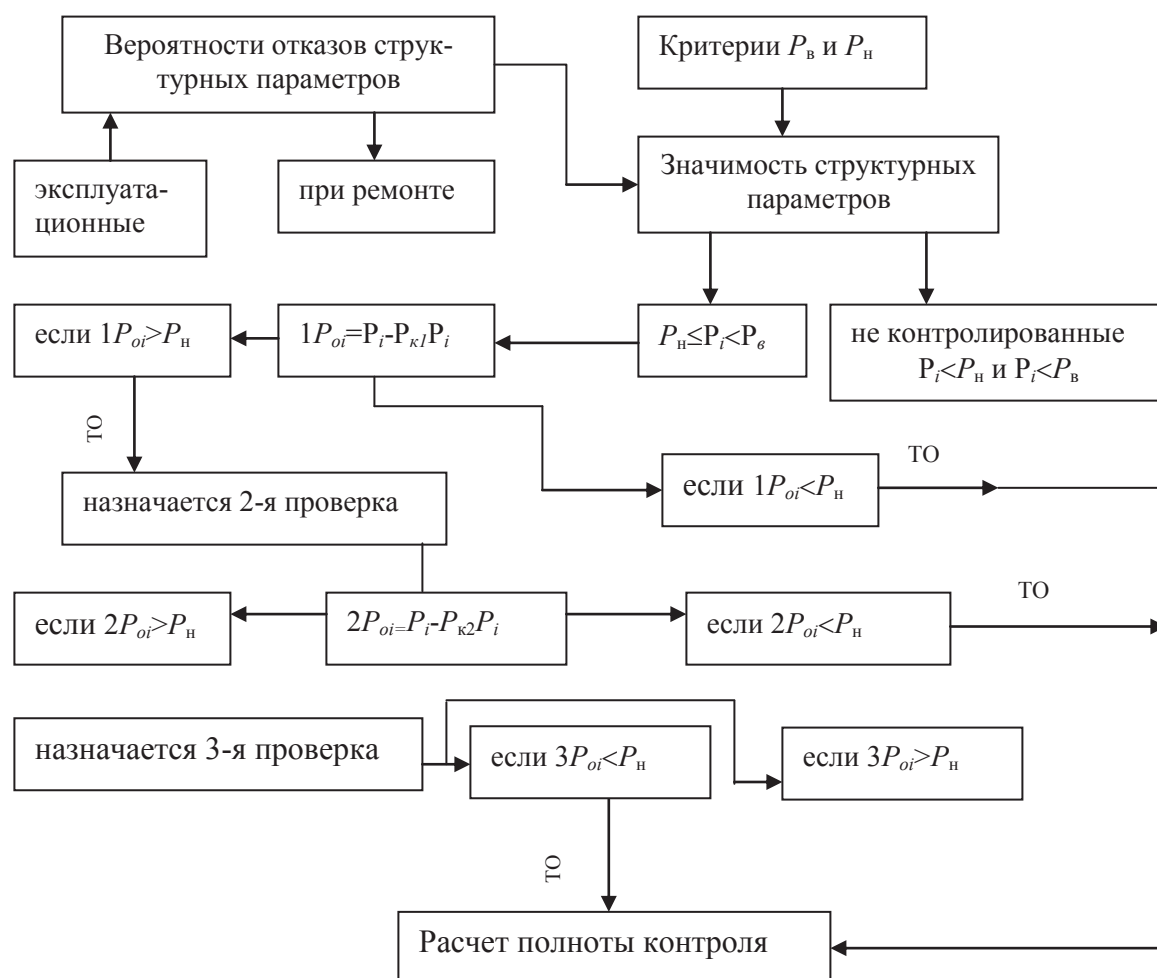


Рис. Обоснование рационального количества диагностируемых параметров
 Fig. Substantiation of rational quantity of diagnosed parameters

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА
ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МЕХАНИЗМОВ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Таблица 1. Расчет вероятностей отказов
Table 1. Calculation of probabilities of refusals

Наименование деталей	И з н о с		В е р о я т н о с т ь					
	место	вид	замены	появление неисправности	замены	появление неисправности	произведение	отказа (фактическая)
Блок-шестерня подвижная 2-й и 3-й передач	Зубья	Торцовый	0,177	0,310	0,177	0,310	0,055	0,174
		По толщине		0	0	0	0	0
Шестерня постоянная 2-й передачи	Зубья	По толщине		0	0	0	0	0
		Торцовый	0,176	0,260	0,176	0,260	0,046	0,144
Шестерня постоянная 3-й передачи	Зубья	Торцовый			0	0	0	0
		По толщине	0,100	0,691	0,100	0,121	0,012	0,108
Шестерня заднего хода	Зубья	По толщине			0	0	0	0
		Торцовый			0	0	0	0
		По толщине	0,013	0	0	0	0	0
Шестерня постоянная 1-й передачи	Зубья	Торцовый			0,036	0,037	0,001	0,003
		По толщине	0,036	0,037	0	0	0	0
Вал приводной	Шлицы	По толщине			0	0	0	0
		По толщине			0,019	0,179	0,003	0,009
	Посадочное место под подшипник 309	По толщине			0,09	0,849	0,106	0,224
		Диаметральный	0,09	0,849	0,089	0,844	0,071	0,225
	Подшипник 309	По толщине	0,09	0,849	0	0	0	0
Радиальный зазор		-	0,01	-	0,01	0,0001	0	

Продолжение. табл. 1
Continuation. Tab. 1

Наименование деталей	И з н о с		В е р о я т н о с т ь					
	место	вид	замены	появление неисправности	замены	появление неисправности	произведение	отказа (фактическая)
Вал передаточный	Шлицы под шестерни	По толщине	0,001	0,232	0,014	0,161	0,002	0,006
	Посадочное место под подшипник 308	Диаметральный	0,001	0,232	0	0	0	0
		По толщине	0,001	0,232	0,028	0,084	0,002	0,006
	Посадочное место под подшипник 50308	Диаметральный	0,001	0,232	0	0	0	0
Подшипник 308	Беговые дорожки обойм и шариков	Радиальный зазор	0,016	0		0	0	0
		Радиальный зазор	0,031	0		0	0	0
Подшипник 50308	Беговые дорожки обойм и шариков	Радиальный зазор	0,030	0	0	0	0	0
		Диаметральный			0,087	0,998	0,087	0,275
Корпус коробки	Гнездо под подшипник 309	Диаметральный			0,0085	0,962	0,085	0,259
		Диаметральный			0	0	0	0
	Гнездо под подшипник 50308	Диаметральный	0,082	0,932				
		Диаметральный			0,0004 0,0005	0,005 0,006	0	0 0

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА
ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МЕХАНИЗМОВ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

Таблица 2. Остаточные вероятности отказов
Table 2. Residual probabilities of refusals

Структурные параметры	Наименование проверки	Износ гнезда под подшипник 60309	Проверка полноты зацепления 2-й передачи	Остаточные вероятности после двух проверок	Проверка полноты зацепления 3-й передачи	Остаточные вероятности после 3-й проверки
<u>Вероятность отказов</u>		0,275	0,320	-	0,282	-
Гнездо подшипника 60309	0,275	-	-	-	-	-
Гнездо подшипника 50208	0,029	0,188	0,177	0,105	209	0,032
Посадочное место подшипника 50208 на валу	0,224	0,162	0,152	0,082	0,161	0,029
Посадочное место подшипника 50208 на валу	0,225	0,163	0,153	0,06	0,162	0,003
<u>Износ зубьев шестерни по длине</u>						
Подвижной 2-й и 3-й передач	0,174	0,127	-	-	-	-
Постоянной 2-й передачи	0,144	0,105	-	-	-	-
Постоянной 3-й передачи	0,108	0,078	0,073	0,03	-	-

Элементы, вероятность которых находится в границах предельных вероятностей, являются ресурсными параметрами механизма. Очередность проверки назначается с того ресурсного структурного параметра, у которого фактическая вероятность отказов имеет наибольшее значение. Количество диагностических параметров выбирается таким, чтобы остаточные вероятности их недиагностируемой номенклатуры параметров были ниже предельной вероятности.

После обоснования диагностических параметров производится проверка их достаточности полнотой контроля по формуле:

$$V = \frac{H_o(M) - \prod_{i=1}^k P_i H_o(M_n)}{H_o(M)}, \quad (15)$$

где: $H_o(M)$ и $H_o(M_n)$ - соответственно априорная и апостериорная неопределенности, которые определяются по формулам

$$H_o(M) = \prod_{j=1}^m P_j \log_2 \prod_{j=1}^m P_j - \left(1 - \prod_{j=1}^m P_j\right) \log_2 \left(1 - \prod_{j=1}^m P_j\right); \quad (16)$$

$$H_o(M_n) = \prod_{l=1}^{m-k} P_l \log_2 \prod_{l=1}^{m-k} P_l - \left(1 - \prod_{l=1}^{m-k} P_l\right) \log_2 \left(1 - \prod_{l=1}^{m-k} P_l\right); \quad (17)$$

где: $P_j = I - P_i$ - вероятность безотказной работы i -го структурного параметра; m , k и $(m-k)$ - количество структурных параметров: общее, подверженных проверке и непроверяемых; P_l - вероятность безотказной работы l -го структурного параметра.

Если значение полноты контроля близко или равно единице, то информация о состоянии механизма будет полной.

Изложенная методика использовалась при обосновании диагностических параметров коробок передач зерноуборочных комбайнов. Рассчитанные вероятности всех структурных параметров приведены в таблице 1.

В графе 4 даны вероятности отказов деталей во время эксплуатации, в графе 5 – вероятности отказов деталей во время ремонта, в графе 6 – вероятности отказов элементов деталей во время эксплуатации, в графе 7 – вероятности отказов элементов деталей во время ремонта, в графе 8 – произведения ве-

роятностей 6-й и 7-й граф, в графе 9- фактические вероятности отказов структурных параметров.

На основании рассчитанных вероятностей отказов определялись ресурсные параметры путем сравнения с рассчитанными по формулам (6) и (7) предельными вероятностями, которые равны $P_{\sigma} = 0,76$ и $P_n = 0,07$. Параметры со значениями фактической вероятности отказов не более 0,76 и не менее 0,07 приняты за основные и занесены в таблицу 2. Из них у гnezда под подшипник 60309 вероятность отказов наибольшая, поэтому износ гnezда принят за лидирующий ресурсный параметр.

Приведен также расчет остальных вероятностей отказов по формуле (14). Приведен также расчет остальных вероятностей отказов по формуле (14).

Оказалось, что у некоторых параметров остаточная вероятность отказов больше P_n . Назначается 2-я проверка – износ зубьев по длине пары шестерен 2-й передачи по полноте зацепления. Этой проверки и даже обеих оказалось недостаточно по той же причине.

Поэтому назначается 3-я проверка – износ зубьев по длине пары шестерен 3-й передачи.

После этого все остаточные вероятности меньше P_n и следующая проверка не назначается.

Для контроля достаточности диагностических параметров проводилась проверка на полноту контроля по формуле (15), в результате чего выяснилось, что ее значение равно 1. Следовательно, три диагностических параметра дают полную информацию о состоянии коробок передач зерноуборочных комбайнов.

ВЫВОД

Таким образом, при обследовании диагностических параметров учитывается экономическая целесообразность (стоимость оборудования, время проверки, оплата) проверки с помощью рассчитанных предельных вероятностей диагностирования, а с помощью остаточной вероятности определяется рациональное количество проверок и последовательность их проведения.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА
ТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МЕХАНИЗМОВ ЗЕРНОУБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

ЛИТЕРАТУРА

1. Anatoliy Boyko. 2011: Teoreticheskiye issledovaniya nadezhnosti kukuruzoubo-rochnoy tekhniki pri ispolzovanii rezervirovaniya / Anatoliy Boyko, Oleksandr Bondarenko, Kostyantyn Dumenko // Motoryzacia i energetyka rolnictwa. – Lublin. – Vol. 13A. – 131–138.
2. Boyko A.I. 2011: Issledovaniye nadezhnosti kukuruzoubo-rochnykh mashin pri ikh starenii, neizmennoy baze tekhnicheskogo obsluzhivaniya i ispolzovaniya passivnogo rezervirovaniya / A.I. Boyko, A.V. Bondarenko // Obshchegosudarstvennyy mezhvedoms-tvennyy nauchno-tekhnicheskyy sbornik KNTU, - Kirovograd. - Vypusk 41, chast 1. - 154-161.
3. Boyko A.I. 2013: Matematichne modelyvannya sistemi «lyudina-mashina» pri nakopichenni vidmov/ A.I. Boyko, A.V. Novitskiy // Visnik KhNTUSG im. Petra Vasilenka. – Kharkiv, KhNTUSG. – Vip. 134. – 75-79.
4. Boyko A.I. 2011: Stokhasticheskoye modelirovaniye raboty pnevmomekhanicheskaya vysewayushchego apparata / A.I. Boyko, A.A. Bannyi // Nauchnyy vestnik NAU, seriya «Tekhnika i energetika APK» - K. - Vypusk 166, chast 1. - 112 - 118.
5. Boyko A.I. 2010: Ustanovleniye funk-tsii vosstanovleniya podsistem zernoubo-rochnykh kombaynov v usloviyakh razvitiya sfery tekhnicheskogo obsluzhivaniya / A.I. Boyko, K.N. Dumenko // Vestnik LNAU. Agrozhenernogo issledovaniya - Lvov. - T.1, № 14. - 12-20.
6. Boyko A.I. 2011: Vpliv operatora na nadiynist sistem «lyudina-mashinaseredovishche» (na prikladi zasobiv dlya prigotovannya i rozdavannya kormiv) / A.I. Boyko, A.V. Novitskiy, Z.V. Ruzhilo, A.Z. Ruzhilo // KhNTUSG im. Petra Vasilenka. – Kharkiv, KhNTUSG. – Vip. 114. – 103 – 108.
7. Boyko A.I. 2012: Problemi zabezpechennya nadiynosti suchasnoï skladnoï silskogospodarskoï tekhniki / A.I. Boyko, O.V. Bondarenko // Visnik Vinnitskogo natsionalnogo agrarnogo universitetu. Seriya: Tekhnichni nauki. - Vinnitsya. - Vypusk 11 (66). - 307 - 311.
8. Rogovskiy I. 2012: Metodika prognozirovaniya ostatochnogo resursa mekhanizmov selskokhozyaystvennykh mashin \ I. Rogovskiy, O. Dubrovina // Motoryzacia i energetyka rolnictwa. – Lublin – Rzeszow, Vol. 14 – No 3, 200-205.
9. Rogovskiy I.L. 2011: Vpliv pokaznikov nadiynosti na periodichnist tekhnichnogo obslugovuvannya silskogospodarskikh ma-shin / I.L. Rogovskiy // Motrol, motoryzacia i energetyka rolnictwa motorization and power industry in agriculture. – Lublin. – Vol. 13B. – 92 – 97.
10. Gukov Ya., Sidorchuk O., Burilko A. 2004: Naukoviy suprovid mashinno-tekhnologichnogo zabezpechennya reformovanikh silskogospodarskikh pidpriemstv // Tekhniko-tekhnologichni aspekti rozvitku ta viprobuvannya novoï tekhniki i tekhnologiy dlya silskogo gospodarstva Ukraïni: Zb. nauk. pr. – Doslidnitske: UkrNDIPVT im. L. Pogorilogo. – Vip. 7 (21). – 20-25.
11. Sidorchuk A.V., Tymochko V.O., Senchuk S.R. 2002: Organizatsionno-tekhnologicheskiye printsipy sozdaniya resursoberegayushchey sistemi remonta dizelnykh dvigateley // Sovremennyye problemy agrotekhnicheskoy prokhodimosti i ekologii selskokhozyaystvennykh landshaftov : Materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. – Minsk. – 185-187.
12. Sidorchuk O.V., Semerak M.M., Triguba A.M., Bashinskiy O.I. 2005: Modeli upravlinnya konfiguratsieyu projektu tekhnichnogo obslugovuvannya ta remontu pozhezhnikh avtomobiliv // Pozhezhna bezpeka ta avariynoryatuvalna sprava: stan, problemi i perspektivi (Pozhezhna bezpeka – 2005): Materiali VII Vseukraïnskoï nauk.-prak. konf. – Kiïv: UkrNDIPB MNS Ukraïni. – №4. – 261-263.
13. Bashinskiy O.I., Sidorchuk O.V. 2002: Organizatsiyni osoblivosti tekhnichnogo obslugovuvannya ta remontu pozhezhnikh avtomobiliv za stanom //Pozhezhna bezpeka. Zb. nauk. prats LIPB, Ukr NDIPB. – Lviv: LIPB. – №2 – 104-106.
14. Arkin V.I., Yevstigneyev I.V. 2009: Veroyatnostnyye modeli upravleniya i ekonomicheskoy dinamiki. – M.: Nauka. – 121.
15. Trojanowska M., Maopolski J. 2011: Forecast models of electric energy consumption by village recipients over a long-term horizon based on fuzzy logic // Teka kom. mot. i energ. roln. – Ol Pan, 11, – 327-334.
16. Project management. 2000: Upravleniye proyektami: Tolkovyy anglo-russkiy slovar-

- spravochnik /Pod. red. prof. V.D. Sha-piro, -M.: Izdatelstvo «Vysshaya shkola». – 379.
17. Lapygin D., Novichkov A. 2012: Upravleniye konfiguratsiyey i izmeneniyami : RUP ili ITIL. – Rezhim dostupu: <http://www.osp.ru>.
18. Shmat K.I., Dinevich G.Yu. 2009: Tekhnich-ne obslugovuvannya i remont silskogospo-darskoï tekhniki. – K.: Kondor. – 204.
19. Sydoruk O., Lub P., Sharybura A. 2011: Stochastic character of the naturally predicted optimal time of soil-tillage and plant-sowing works in the spring period // Motoryzacja i energetyka rolnictwa // Motrol. – Lublin. – T. 13. – 302-308.
20. Plizga K. 2008: Model symulacyjny sygnału diagnostycznego simulating patternel of diagnostic signal // Motoryzacja i energetyka rolnictwa // Motrol. – Lublin. – T. 10. – 207-219.

**DEFINITION OF RATIONAL
QUANTITY OF TECHNICAL CONTROL
OF MECHANISMS OF COMBINE
HARVESTER**

Summary. Mathematical model is developed and analysis of system definition of rational quantity of technical control of mechanisms of combine harvester is carried out.

Keywords: reliability, model, mashine, refusal.

WEAKLY NONLINEAR BOUNDARY VALUE PROBLEMS FOR DIFFERENTIAL SYSTEMS WITH IMPULSE ACTION

Rayisa Ovchar

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
 Heroiv Oborony Str. 15, Kiev, Ukraine*

Раиса Овчар

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
 Украина, г. Киев, ул. Героев Оборонны, 15*

Summary. Coefficient obtained sufficient conditions for the existence and iterative algorithm of solutions of weakly nonlinear boundary value problems for ordinary differential equations with impulse action in general, when the number of boundary conditions does not coincide with the order of the differential system.

Key words: linear boundary value problem, Green’s matrix, weakly nonlinear boundary value problem, vector-function, vector-functional, pseudouniverse, Cauchy problem.

RESULTS AND DISCUSSIONS

1. Linear boundary value problem. Before we begin our exploration, we should find the criterion of existence and structure of general solution of linear inhomogeneous boundary value problem for systems of ordinary differential boundary value equations with pulse action in fixed times:

$$\dot{z} = A(t)z + \varphi(t), \quad t \neq \tau_i, \quad \Delta z|_{t=\tau_i} = S_i z(\tau_i - 0) + a_i, \quad (1)$$

$$lz = \alpha, \quad \tau_i, t \in [a, b] \quad (2)$$

Following next guessworks and denotations from [1], [2]: $A(t)$ and $\varphi(t)$ – $(n \times n)$ -array and $(n \times 1)$ -vector functions, the components of which belongs $C([a, b] \setminus \{\tau_i\}_I)$ space of succession and piecewise continuous on the $[a, b] / \{\tau_i\}_I$ function with breaks first order on the t , when $t = \tau_i$; S_i – $(n \times n)$ - constant matrix, such that $[E + S_i]$ - nonsingular, a_i – n -vector-column of constants:

$a_i \in \mathbb{R}^n$; $-\infty < \alpha < \tau_1 < \dots < \tau_i < \dots < \tau_p < b < +\infty$, $i = 1, \dots, p$; $l = col(l_1, \dots, l_m)$ – bounded linear m -vector-functional; $\alpha = col(\alpha_1, \dots, \alpha_m) \in \mathbb{R}^m$. Denote by $X(t)$ normal ($X(a) = E$) fundamental matrix, which corresponds to the (1) homogeneous ($\varphi(t) = 0$, $a_i = 0$) system with impulse action, and in the

capacity of Green’s matrix $K(t, \tau)$ Cauchy problem for this system we take the next:

$$K(t, \tau) = \begin{cases} X(t)X^{-1}(\tau), & \text{if } 0 \leq \tau \leq t \leq T, \\ 0, & \text{if } 0 \leq \tau < t \leq T. \end{cases} \quad (3)$$

Let $Q = LX(\cdot)$ - $(m \times n)$ -array, obtained by substituting the boundary conditions $X(t)$, Q^+ - single pseudouniverse of it $(n \times m)$ -matrix. Denote by $P_Q(n \times m)$ -matrix (orthoprojector $P_Q^2 = P_Q = P_Q^*$), projecting \mathbb{R}^n on the null-space $N(Q)$ of matrix Q : $P_Q: \mathbb{R}^n \rightarrow N(Q)$; similarly $P_{Q^*} - (m \times m)$ -matrix: $\mathbb{R}^m \rightarrow N(Q^*)$. Next, denote by $P_{Q_r}(n \times r)$ -matrix, columns of which r -linearly independent columns of matrix $P_Q(r = n - n_1, n_1 = rank Q)$; $P_{Q_d^*} - (d \times m)$ -matrix, rows of which - d linearly independent rows of matrix $P_{Q^*}(d = m - n_1)$; $X_r(t) = X(t)P_{Q_r}$.

The next theorem is value.

Theorem 1. If linear inhomogeneous boundary value problem (1), (2) with pulse action is satisfies the conditions indicated above and $rank Q = n_1 \leq \min(n, m)$. Then, similiary (1), (2) homogeneous ($\varphi(t) = 0$, $a_i = 0, \alpha = 0$) boundary value problem has $r = n - n_1$ and only r independent decisions. Inhomogeneous boundary value problem (1), (2) solvable for those and only those $\varphi(t) \in C([a, b] \setminus \{\tau_i\}_I)$, $a_i \in \mathbb{R}^n, \alpha \in \mathbb{R}^m$, which satisfies the condition

$$P_{Q_d^*} \left\{ \alpha - l \int_a^b K(\cdot, \tau) \varphi(\tau) d\tau - l \sum_{i=1}^p k(\cdot, \tau_i + 0) a_i \right\} = 0 \quad (4)$$

and has r -parametric family of solutions $z_0(t, c_r)$ on the $C^{-1}([a, b] \setminus \{\tau_i\}_I)$ space of piecewise continuously differentiable vector-functions, which has discontinuities of the first kind on the t , when $t = \tau_i$

$$z_0(t, c_r) = X_r(t)c_r + \left(G \begin{bmatrix} \varphi \\ a_i \end{bmatrix} \right) (t) + X(t)Q^+ \alpha, \quad (5)$$

Where $(G \begin{bmatrix} * \\ * \end{bmatrix})(t)$ – generalized Green’s function of boundary value problem (1), (2), which has the form

$$[K \begin{bmatrix} \varphi \\ a_i \end{bmatrix}](t) \stackrel{\text{def}}{=} (\int_a^b K(t, \tau) * d\tau - X(t)Q^+l \int_a^b K(\cdot, \tau) * d\tau, [K \sum_{i=1}^p K(t, \tau_{i+0}) * - K \sum_{i=1}^p K(\cdot, \tau_{i+0}) *] \begin{bmatrix} \varphi(\tau) \\ a_i \end{bmatrix})(t) \quad (6)$$

2. Weakly nonlinear boundary value problem. Consider the boundary value problem

$$\begin{aligned} \dot{z} &= A(t)z + \varphi(t) + \varepsilon Z(z, t, \varepsilon), \\ t &\neq \tau_i \in [a, b], \\ \Delta z|_{t=\tau_i} &= S_i z(\tau_i - 0) + a_i + \varepsilon I_i(z(\tau_i - 0, \varepsilon)\varepsilon), \\ lz &= \alpha + \varepsilon I(z(\cdot, \varepsilon), \varepsilon), i = 1, \dots, P. \end{aligned} \quad (7)$$

Find the conditions of existence, and an algorithm for constructing solution $z_0(t, \varepsilon)$:

$z(\cdot, \varepsilon) \in C^1([a, b] \setminus \{\tau_i\}_I), z(t, \cdot) \in C[0, \varepsilon_0]$ of problem (7), turns when $\varepsilon = 0$ to the generating solution $z_0(t, c_r)$ (5) of generation boundary value problem (1), (2) obtained from (7) when $\varepsilon = 0$. We assume that the conditions of theorem is following. Furthermore, nonlinear n -vector function $Z(z, t, \varepsilon)$ is that, then

$$\begin{aligned} Z(\cdot, t, \varepsilon) &\in C^1[|z - z_0| \leq q], \\ Z(z, \cdot, \varepsilon) &\in C([a, b] \setminus \{\tau_i\}_I), Z(z, t, \cdot) \in C[0, \varepsilon_0]; \\ I_i(z(\tau_i - 0, \varepsilon), \varepsilon), I(z(\cdot, \varepsilon), \varepsilon) &- \text{nonlinear } n\text{- and } m\text{-vector functionals in the first argument } z \text{ continuously differentiable (according to Frechet), and as the vector-functions of second argument permanently on the } \varepsilon \in [0, \varepsilon_0]. \end{aligned}$$

A necessary condition for the existence of the desired solution of the boundary value problem (7) is the following in the next.

Theorem 2. If weakly nonlinear boundary value problem (7) with pulse action in fixed times has solution $z(t, \varepsilon): z(\cdot, \varepsilon) \in C^1([a, b] \setminus \{\tau_i\}_I), z(t, \cdot) \in C[0, \varepsilon_0]$ turns when $\varepsilon = 0$ to the one of solutions $z_0 = z_0(t, c_r)$, generating for (7) boundary value problem (1), (2) with the constant $c_r = c_r^* \in R^r (r = n - \text{rank} Q = n - n_1)$. Then, the vector constant c_r^* satisfies the equation

$$F(c_r) = P_{Q_d^*} \{I(z_0(\cdot, c_r), 0) - \int_a^b K(\cdot, \tau) Z(z_0(\tau, c_r), \tau, 0) d\tau$$

$-l \sum_{i=1}^l K(t, \tau_i + 0) I_i(z_0(\begin{bmatrix} \tau_i - \\ -0, c_r \end{bmatrix}), 0)\} = 0$ (8) will be called the equation for generating amplitudes boundary value problem (7) with impulse action.

Find sufficient conditions for the existence of the desired solution of the boundary value problem (7). After using in (7) the change of variables $z(t, \varepsilon) = z_0(t, c_r^*) + x(t, \varepsilon)$, we obtain the problem of finding solutions

$x(t, \varepsilon): x(\cdot, \varepsilon) \in C^1([a, b] \setminus \{\tau_i\}_I), x(t, \cdot) \in C[0, \varepsilon_0], x(t, 0) = 0$ of boundary value problem

$$\begin{aligned} \dot{x} &= A(t)x + \varepsilon Z(z_0(t, c_r^*) + x(t, \varepsilon), t, \varepsilon) \quad t \neq \tau_i, \\ \Delta x|_{t=\tau_i} &= S_i x(\tau_i - 0) + \varepsilon I_i(z_0(\tau_i - 0, c_r^*) + x(\tau_i - 0, \varepsilon)\varepsilon), \\ lz &= \varepsilon I(z_0(\cdot, c_r^*) + x(\cdot, \varepsilon), \varepsilon). \end{aligned} \quad (9)$$

Taking into account conditions on the nonlinearity, we have the following expansion in the vicinity $x = 0, \varepsilon = 0$:

$$Z(z_0 + x, t, \varepsilon) = Z(z_0, t, 0) + A_1(t)x + R(x, t, \varepsilon),$$

$$A_1(t) = \frac{\partial Z(z, t, 0)}{\partial z}|_{z=z_0(t, c_r^*)}, R(0, t, 0) = 0, \frac{\partial R(0, t, 0)}{\partial x} = 0;$$

$$\begin{aligned} I_i(z_0(\tau_i - 0, c_r^*) + x(\tau_i - 0, \varepsilon), \varepsilon) &= I_i(z_0(\tau_i - 0, c_r^*), 0) + \\ &+ A_{1i}x(\tau_i - 0, \varepsilon) + R_i(x(\tau_i - 0, \varepsilon), \varepsilon), \end{aligned}$$

$$A_{1i}(t) = \frac{\partial I(z, 0)}{\partial z}|_{z=z_0(\tau_i - 0, c_r^*)}, R(0, 0) = 0, \frac{\partial R_i(0, 0)}{\partial x} = 0;$$

$$\begin{aligned} I(z_0(\cdot, c_r^*) + x(\cdot, \varepsilon), \varepsilon) &= I(z_0(\cdot, c_r^*), 0) + l_1x(\cdot, \varepsilon) + R_0(x(\cdot, \varepsilon), \varepsilon), \end{aligned}$$

$l_1x(\cdot, \varepsilon)$ – the linear part of the vector functional

$$I(z_0(\cdot, c_r^*) + x(\cdot, \varepsilon), \varepsilon); R(0, 0) = 0, \frac{\partial R_0(0, 0)}{\partial x} = 0.$$

Considering the non-linearity in (9) formally as heterogeneity and applying to (9) theorem 1 for solution $x(t, \varepsilon)$ of weakly nonlinear boundary value problem (9) get the

$$x(t, \varepsilon) = X_r(t)c + x^{(1)}(t, \varepsilon). \quad (10)$$

where the unknown constant vector $c = c(\varepsilon) \in R^r$ determined by the condition (4) of the existence of solution of weakly nonlinear boundary value problem (9)

$$P_{Q_d^*} \{ I(z_0(\cdot, c_r^*) + x(\cdot, \varepsilon), \varepsilon) - l \int_a^b K(\cdot, \tau) Z(z_0(\tau, c_r^*) + x(\tau, \varepsilon), \tau, \varepsilon) d\tau - l \sum_{i=1}^p K(\cdot, \tau_i + 0) I_i(z_0(\tau_i - 0, c_r^*) + x(\tau_i - 0, \varepsilon), \varepsilon) \} = 0, \quad (11)$$

and the unknown vector function $x^{(1)}(t, \varepsilon)$ via generalized Green's function $\left(G \begin{smallmatrix} * \\ * \end{smallmatrix} \right) (t)$ is

$$x^{(1)}(t, \varepsilon) = \varepsilon X(t) Q^+ I(z_0(\cdot, c_r^*) + x(\cdot, \varepsilon), \varepsilon) + \varepsilon \left(G \begin{bmatrix} Z(z_0(\tau, c_r^*) + x(\tau, \varepsilon), \tau, \varepsilon) \\ I_i(z_0(\cdot, c_r^*) + x(\cdot, \varepsilon), \varepsilon) \end{bmatrix} (t) \right) \quad (12)$$

$$x^{(1)}(t, \varepsilon) = \varepsilon X(t) Q^+ [I(z_0(\cdot, c_r^*), 0) + l_1 (X_r(\cdot) c + x^{(1)}(\cdot, \varepsilon)) + R_0(x(\cdot, \varepsilon), \varepsilon)] + \left(G \begin{bmatrix} Z(z_0(\tau, c_r^*), \tau, 0) + A_1(\tau) (X_r(\tau) c + x^{(1)}(\tau, \varepsilon)) + R(x, \tau, \varepsilon) \\ I_i(z_0(\tau_i - 0, c_r^*), 0) + A_{1i} (X_r(\tau_i - 0) c + x^{(1)}(\tau_i - 0, \varepsilon)) + R_i(x(\tau_i - 0), \varepsilon) \end{bmatrix} (t) \right),$$

where $B_0 = P_{Q_d^*} \{ l_1 X_r(\cdot) - l \int_a^b K(\cdot, \tau) A_1(\tau) X_r(\tau) d\tau - l \sum_{i=1}^p K(\cdot, \tau_i + 0) A_{1i} X_r(\tau_i - 0) \} -$ $(d \times r)$ -matrix ($r = n - n_1, d = m - n_1, n_1 = \text{rank } Q$).

Denote by P_{B_0} $(r \times r)$ -matrix (orthoprojector), which projecting \mathbb{R}^r on the $N(B_0)$,

and by $P_{B_0^*}$ $(d \times d)$ -matrix, which projecting \mathbb{R}^d on the $N(B_0^*)$. Then, when

$$P_{B_0} = 0, \quad P_{B_0^*} P_{Q_d^*} = 0 \quad (14)$$

the second equation of the system operator (13) is uniquely solvable for c :

$$c = -B_0^+ P_{Q_d^*} \{ l_1 x^{(1)}(\cdot, \varepsilon) + R_0(x(\cdot, \varepsilon), \varepsilon) - l \int_a^b K(\cdot, \tau) [A_1(\tau) x^{(1)}(\tau, \varepsilon) + R(x(\tau, \varepsilon), \tau, \varepsilon)] d\tau - l \sum_{i=1}^p K(\cdot, \tau_i + 0) [A_{1i} x^{(1)}(\tau_i - 0, \varepsilon) + R_i(x(\tau_i - 0), \varepsilon)] \},$$

B_0^+ $(-r \times d)$ -pseudouniverse.

As a result, the obtained solutions for the redundant system operator apply the method of simple iterations. Thus, the following theorem.

$$l_1 (X_r(\cdot) c_k + x_k^{(1)}(\cdot, \varepsilon)) + R_0(x_k(\cdot, \varepsilon), \varepsilon) +$$

$$+ \left(G \begin{bmatrix} Z(z_0(\tau, c_r^*), \tau, 0) + A_1(\tau) (X_r(\tau) c_k + x_k^{(1)}(\tau, \varepsilon)) + R(x_k, \tau, \varepsilon) \\ I_i(z_0(\tau_i - 0, c_r^*), 0) + A_{1i} (X_r(\tau_i - 0) c_k + x_k^{(1)}(\tau_i - 0, \varepsilon)) + R_i(x_k(\tau_i - 0), \varepsilon) \end{bmatrix} \right)$$

The boundary value problem (7) in this case has only been accessed by $\varepsilon = 0$ to the generating $z_0(t, c_r^*)$ (5) solution $z(t, \cdot) \in C[0, \varepsilon_0]$ which is determined by an iterative process (15) and of formula $z_k(t, \varepsilon) = z_0(t, c_r^*) + x_k(t, \varepsilon), k = 0, 1, 2, \dots$

Considering that the vector constant $c_r^* \in \mathbb{R}^r$ need to satisfy the equation for generating amplitudes of the boundary value problem (7), taking into account the expansion of nonlinearities in order to find solutions of the boundary value problem (7) we obtain the following equivalent operator system:

$$x(t, \varepsilon) = X_r(t) c + x^{(1)}(t, \varepsilon), \quad B_0 c = -P_{Q_d^*} \{ l_1 x^{(1)}(\cdot, \varepsilon) + R_0(x(\cdot, \varepsilon), \varepsilon) - l \sum_{i=1}^p K(\cdot, \tau_i + 0) [A_{1i} x^{(1)}(\tau_i - 0, \varepsilon) + R_i(x(\tau_i - 0), \varepsilon)] \}, \quad (13)$$

Theorem 3. Suppose boundary value problem (9) satisfies the above conditions, so that $\text{rank } Q = n_1$ and generating the corresponding boundary value problem (1), (2) subject to (4) ($d = m - n_1$), and only when it has r -parametrical family ($r = n - n_1$) generating solutions $z(t, c_r)$ (5). Then for every vector values $c_r = c_r^* \in \mathbb{R}^r$, satisfying the equation (8) for generating amplitudes, under the condition (14) the boundary value problem (9) has a unique solution $x(t, \varepsilon): x(t, \cdot) \in C[0, \varepsilon_0]$ turn to zero when $\varepsilon = 0$. This solution can be determined by converging on the $[0, \varepsilon_0]$ iterative process

$$c_k = -B_0^+ P_{Q_d^*} \{ l_1 x^{(1)}(\cdot, \varepsilon) + R_0(x_k(\cdot, \varepsilon), \varepsilon) - l \int_a^b K(\cdot, \tau) [A_1(\tau) x^{(1)}(\tau, \varepsilon) + R(x(\tau, \varepsilon), \tau, \varepsilon)] d\tau - l \sum_{i=1}^p K(\cdot, \tau_i + 0) [A_{1i} x_k^{(1)}(\tau_i - 0, \varepsilon) + R_i(x_k(\tau_i - 0), \varepsilon)] \}, \quad (15)$$

$$x_{k+1}^{(1)}(t, \varepsilon) = \varepsilon X(t) Q^+ [I(z_0(\cdot, c_r^*), 0) +$$

Note that in the case of boundary value problems of the Fredholm's type $m = n$ if $P_{B_0} = 0$, then $P_{B_0^*} = 0$, and so $P_{B_0^*} P_{Q_d^*} = 0$ in (14) is automatically value.

CONCLUSIONS

Built equation for generating amplitudes of weakly nonlinear boundary value problems with pulse action that determines the amplitude of the generating solutions to the desired and gives a necessary condition of its existence.

REFERENCES

1. Samoylenko A.M. Differentsialnyye uravneniya s impulsnym vozdeystviem // A.M. Samoylenko, N.A. Perestyuk. - K.: Vishcha shk.; 1987. – 287.
2. Boychuk A.A. Konstuktivnyye metody analiza krayevykh zadach // A.A. Boychuk. -K.: Nauk. dumka; 1990. -96.
3. Samoylenko A.M. Lineynyye neterovy krayevyye zadachi dlya differentsialnykh sistem s impulsnym vozdeystviem // A.M. Samoylenko, A.A. Boychuk. -Ukr. mat zhurn.; 1992, №4.-564-568.
4. Boychuk A.A. Periodicheskiye resheniya impulsnykh differentsialnykh sistem v kritichestkikh sluchayakh // A.A. Boychuk, N.A. Perestyuk, A.M. Samoylenko. - Differents. uravneniya.; 1991, №9. -1516-1526 s.
5. Malkin I.G. Nekotoryye zadachi teorii nelineynykh kolebaniy // I.G. Malkin. – M.: Gostekhizdat; 1956. - 491.
6. Grebennikov Ye.A. Konstruktivnyye metody anali za nelineynykh sistem // Ye.A. Grebennikov, Yu.A. Ryabov. - M.: Nauka; 1979. – 431.
7. Biotekhnologichna 2011: Biotekhnologichna kontseptsiya oderzhannya i vikoristannya polisakharidiv iz griba trutovik spravzhniy (Fomes fomentarius (L. Fr.), Gill.) dlya induktsii zakhisnikh mekhanizmiv kulturnikh roslin vid khvorob / [V.V. Teslyuk, M.D. Melnichuk, I.P. Grigoryuk, V.O. Dubrovin] // Ovochivnitstvo i bashtanstvo. Mizhvidomchiy tematchniy naukoviy zbirnik. – Kh.: NAAN Ukraini, Institut ovochivnitstva i bashtanstva. – Bip. 57. – 87 – 102.
8. Tyuterev S.L. 2002: Nauchnyye osnovy indutsirovannoy boleznustoychivosti rasteniy / S.L. Tyuterev. – Sank Peterburg: OOO «ITsZR» VIZR. – 328.
9. Shakirova F.M. 2001: Nespetsificheskaya ustoychivost rasteniy k stressovym faktoram i yeye regulyatsiya / F.M. Shakirova. Ufa: Gilem. – 160.
10. Metlitskiy L.V. 1985: Kak rasteniya zashchishchayutsya ot bolezney / L.V. Metlitskiy, O.L. Ozeretskoyevskaya. – M.: Nauka. – 192.
11. Tarchevskiy I.A. 2000: Elisitor-indutsiruyemye signalnyye sistemy i ikh vzaimodeystviye / I.A. Tarchevskiy // Fiziologiya rasteniy. – 47. – 321 – 331.
12. Ozeretskoyevskaya O.L. 1999: Indutsirovaniye ustoychivosti rasteniy / O.L. Ozeretskoyevskaya // Agrarnaya Rossiya. – № 1. – 4 – 9.
13. Gorovoy L.F. 2004: Indutsirovannaya ustoychivost i razrabotka preparatov novogo pokoleniya dlya zashchity rasteniy / L.F. Gorovoy // Integrovaniy zakhist roslin na pochatku KhKhI stolittya. Materiali mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferentsii. Institut zakhistu roslin. – K.: Kolobig. – 161 – 169.
14. Feofilova Ye.P. 1999: Perspektivnyye istochniki polucheniya khitina iz prirodnykh obyektov / Ye.P. Feofilova, V.M. Tereshina // Novyye perspektivy v issledovanii khitina i khitozana. – M.: – 76 – 78.
15. Khitin 2002: Khitin i khitozan: polucheniye, svoystva i primeneniye / [Pod red. K.G. Skryabina, G.A. Vikhorevoy, V.P. Varlamova]. – M.: Nauka. – 368.
16. Feofilova Ye.P. 1983: Kletochnaya stenka gribov / Ye.P. Feofilova. – M.: Nauka. – 276.
17. Feofilova Ye.P. 1981: Obrazovaniye khitina mikroskopicheskimi gribami / Ye.P. Feofilova // Soobshcheniye I, II. Biol. Nauki. – № 6. – 5 – 20.
18. Gribov 2007: Gribov. Trutovik spravzhniy. Tekhnichni umovi. SOU 01.12-37-554:2007. [Chinniy vid 2007-10-01]. – K.: Minagropolitiki. – 14 – (Natsionalni standarti Ukraini).
19. Teslyuk V.V. 2011: Tekhnologichni osnovi virobnitstva mikrobiopreparativ iz plodovikh til gribov / V.V. Teslyuk // Visnik agrarnoi nauki. – № 3. – 41 – 43.
20. Patent 2008: Patent na korisnu model № 29953, Ukraina, MPK A01N 63/00, A01N 65/00, A01P 1/00, A01P 3/00. Sposib pidvishchennya stiykosti roslin do khvorob / Goroviy L.F., Koshevskiy I.I., Redko V.V.,

Teslyuk V.V. Zayavnik i vlasnik Goroviy L.F.,
Koshevskiy I.I., Redko V.V., Teslyuk V.V.;
zayavleno 27.02.2007; opublikovano
11.02.2008, Byul. № 3.

21. Melnychuk M., Dubrovin V., Teslyuk V.,
Grygoryuk I. 2010: Tekhniko-tekhnologichni
osnovi virobnitstva mikrobiopreparatu [Maksym
Melnychuk, Valeriy Dubrovin, Victor Teslyuk,
Ivan Grygoryuk] // MOTROL. Motoryzacija I
energetyka rolnictwa. Motorization and power
industry in agriculture. – Lublin: . – Tom 12 B.
– 5 – 8.

22. Biofungitsid 2001: Biofungitsid «Mikosan»
Tekhnichni umovi. TU U 24.2-23710945.003-
2001 (Vvodyatsya vpershe). [Termin dii vid
2001-08-29]. – K.: – 17. – (Derzhavniy komitet
Ukraini po standartizatsii, metrologii ta
sertifikatsii).

**СЛАБОНЕЛИНЕЙНЫЕ КРАЕВЫЕ
ЗАДАЧИ ДЛЯ СИСТЕМ
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ
С ИМПУЛЬСНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ**

Аннотация. Коэффициенты получены с
достаточных условий для существования и
итерационного алгоритма решения через
слабо нелинейные краевые задачи для
обыкновенных дифференциальных
уравнений с импульсным воздействием в
общем случае, когда число граничных
условий не совпадает с порядком
дифференциальной системы.

Ключевые слова: линейный краевый
задачи, матрица Грина, слабо нелинейные
краевые задачи, вектор-функция, вектор-
функциональны, задача Коши.

КЛАССИФИКАЦИЯ ХАРАКТЕРНЫХ НЕСОВЕРШЕНСТВ ЗЕРНОВЫХ СЕЯЛОК И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Владислав Рубльов, Виктория Опалко

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15

Vladyslav Rublyov, Viktoria Opalko

National University of Life and Enviromental Sciences of Ukraine

Heroiv Oborony Str. 15, Kiev, Ukraine

Аннотация. Определены характерные несовершенства зерновых сеялок и установлены причины их возникновения. Представлена классификация несовершенств посевных машин и разработаны предложения по их устранению. Приведенные примеры реализации предложений по улучшению качества зерновых сеялок.

Ключевые слова: зерновые сеялки, характерные несовершенства, причины несовершенств, направления улучшения качества.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Значение зерновых сеялок в производстве зерна определяется стратегией обеспечения народа Украины основным продуктом питания - хлебом. С точки зрения технологического значения зерновая сеялка обеспечивает начальный процесс выращивания зерновых культур ("как посеешь, так и пожнешь"). Поэтому проблемы производства зерна и его технического обеспечения в течение многих лет рассматриваются в политических и научно-технических выступлениях и публикациях [1 - 3].

Качество и технический уровень сельскохозяйственных машин закладывается на этапе создания требований к продукции в нормативных документах, согласно которым идет ее изготовление и сбыт.

Проблема: обосновать требования к зерновым сеялкам для улучшения качества конструктивных и технологических решений.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Цель: определить характерные несовершенства зерновых сеялок, их причины и пути для повышения их качества.

Задачи:

- установить характерные несовершенства зерновых сеялок;
- привести их описание;
- определить причины несовершенств зерновых сеялок;
- разработать инновационные направления по повышению качества зерновых сеялок с учетом мировых требований.

Методика исследований: органолептические и регистрационные методы наблюдений для сбора информации, математические и статистические методы её обработки, методы морфологического анализа и информационного поиска при обосновании направлений по повышению качества зерновых сеялок [4, 5]. Исследования проводились при поставке, эксплуатации зерновых сеялок, а также на международных выставках и презентациях фирм Украины, Германии, Турции, Аргентины, занимающихся производством сеялок.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСЛЕДОВАНИЙ

В результате проведенных наблюдений были выявлены несовершенства сеялок и предложена их классификация по значимости и влиянию на работоспособность машины (табл. 1). При этом рассматривались значение приемочного уровня дефектности "q" в соответствии с положениями ГОСТ 18242-72 [6]. Все несовершенства по значимости распределены на следующие:

- критические, ноль дефектов на 100 сеялок ($q = 0$);
- значительные, пятнадцать дефектов на 100 сеялок ($q = 15$);
- малозначительные, сто пятьдесят дефектов на 100 сеялок ($q = 150$);
- малозначительные, четыреста дефектов на 100 сеялок ($q = 400$).

Таблица 1. – Классификация характерных несовершенств сеялок по их значению
Table 1. – Classification of seeders imperfections on their meaning

Виды несовершенств			
Название групп несовершенств			
1. Критиче-ские	2. Значительные	3. Малозначительные	4. Малозначительные
Допустимое количество несовершенств			
Ноль	15	150	400
Название подгрупп показателей			
1.1. Непригодность к монтажу	2.1.Комплект ЗИП не соответствует комплектовочным и упаковочным ведомостям	3.1.Зазоры в зубчатом сцеплении шестерён превышают допустимые значения	4.1. Несимметричность размещения крыльев загортачей относительно оси
1.2. Недопустимая деформация рамы	2.2.Сварные соединения имеют непровары, пористость и наплывы	3.2. Зазор между высевающими дисками и нижней кромкой больше 0,5 мм	4.2. Некачественная регулировка туковывсевающих аппаратов
	2.3. Не выдерживаются продольные и поперечные углы статической стойкости	3.3.Зазор между накладкой и поверхностью корпуса высевающего аппарата более 0,8 мм	4.3.Продольный люфт приводного вала секций превышает 1 мм
	2.4. Радиальное и осевое биение дисков маркеров, опорно-прикатывающих колёс превышают допустимые нормы	3.4.Зазоры между роликом и отражателем, роликом и диском, выталкивателем и корпусом, превышают допустимые пределы	4.4. Некачественная покраска
	2.5.Не проворачиваются зубчатые пары в секциях высевающих аппаратов	3.5.Отсутствует стопорный винт регулятора глубины хода сошников	4.5. Нечёткое информационное оформление таблицы маркировки
	2.6. Нарушение соосности ведущих валов двух переменных туковывсевающих аппаратов	3.6. Фиксация звездочек цепных передач привода секций выполнена с нарушением требований ТУ	
	2.7. Поворачивание туковывсевающих аппаратов с заеданием	3.7. Зазор между поясом туковывсевающего аппарата и бункером превышает 3 мм	
	2.8. Отсутствие взаимозаменяемых составных частей		
	2.9. Отсутствие подгонки деталей		
	2.10. Неудачное расположение таблицы маркировки		
	2.11. Несоответствие разъёмных соединений нормативным требованиям по длине винта за пределами гайки		

КЛАССИФИКАЦИЯ ХАРАКТЕРНЫХ НЕСОВЕРШЕНСТВ ЗЕРНОВЫХ СЕЯЛОК И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ УСТРАНЕНИЯ

В качестве характерных несовершенств сеялок по значимости (при повторях два и более раз) при осмотре их технического состояния установлены следующие.

I. Критические дефекты (ноль дефектов на 100 машин).

1. непригодность к монтажу.
2. недопустимая деформация рамы.

II. Значительные дефекты (15 дефектов на 100 машин).

1. Комплект поставки изделий, запасных частей и инструмента не соответствует комплектующим и упаковочным ведомостям.

2. Сварные соединения имеют небольшое количество непроваров, пористости и наплывов.

3. Не выдерживаются продольные и поперечные углы статической устойчивости.

4. Радиальное и осевое биение дисков маркеров, опорно-приводных колес превышает допустимые нормы.

5. Не проворачиваются зубчатые пары в секциях высевальных аппаратов.

6. Нарушение соосности ведущих валов туковывсевающих аппаратов.

7. Вращение валов туковывсевающих аппаратов с заеданием.

8. Отсутствие взаимозаменяемых составных частей и необходимой подгонки сопряженных деталей.

9. Отсутствие необходимой подгонки сопряженных деталей

10. Неудачное расположение таблицы маркировки (в малодоступных для осмотра местах).

10. Несоответствие разъемных соединений нормативным требованиям по длине винта за пределами гайки.

III. Малозначительные дефекты (150 дефектов на 100 машин).

1. Зазоры в зубчатом сцеплении конических шестерен превышают допустимые пределы.

2. Зазор между высевальными дисками и нижней кромкой более 0,5 мм.

3. Зазор между накладкой и поверхностью стенки корпуса высевального аппарата более 0,8 мм.

4. Зазоры между роликом и отражателем, роликом и диском, выталкивателем и корпусом, диском и крышкой, диском и накладкой

превышают допустимые значения.

5. Отсутствует стопор-винт регулятора глубины хода сошников.

6. Фиксация звездочек цепных передач привода секций выполнена с нарушением требований технических условий.

7. Зазор между поясом туковывсевающего аппарата и бункером превышает 3 мм.

IV. Малозначительные дефекты (400 дефектов на 100 машин).

1. Несимметричность размещения крыльев загорточек относительно оси.

2. Некачественная регулировка скребков туковывсевающих аппаратов.

3. Продольный люфт приводного вала секций превышает 1 мм.

4. Некачественная покраска.

5. Нечёткая информация таблицы маркировки.

Анализ выявленных несовершенств сеялок свидетельствует о том, что они связаны с нарушением требований нормативных документов на изготовление сеялок [7 - 11]. В то же время, указанные нормативные документы не соответствуют мировым стандартам, с которыми гармонизированы с отечественными стандартами [12, 13].

Нарушение требований гармонизированных и международных стандартов связано с отсутствием в указанных нормативных документах использования статистических методов контроля. Кроме того, согласно техническим условиям и ДСТУ контролируется только часть показателей зерновых сеялок.

В соответствии с техническими условиями правила приема сеялок предусматривают следующие испытания (табл. 2):

- предъявительские;
- приемо-сдаточные
- периодические;
- обязательные сертификационные испытания.

Анализ нормируемых в технических условиях правил приема сеялок указывает, что они более ориентированы на защиту производителей. Это относится к периодичности контроля сеялок, объему выборки, отсутствию правил использования статистического контроля по ГОСТ 18242-72 [6].

Предъявительские испытания проводятся отделом технического контроля завода в объеме 2% сеялок от суточной нормы. Оце-

ниваются показатели технических характеристик (п.1, 3), комплектности (п. 1.4), маркировки (п. 1,5), и упаковки (п. 1.6).

Приемо-сдаточные испытания проводятся предприятием-изготовителем в присутствии рабочих отдела технического контроля. В процессе приемо-сдаточных испытаний осуществляется: проверка качества упаковки; проверка комплектности отгрузочных мест; проверка маркировки; полная контрольная сборка зерновых сеялок с целью проверки комплектности, окраски и защитных покрытий, качества изготовления, правильности монтажных работ, а также технических регулировок.

Периодические испытания проводятся на машиноиспытательных станциях. Обязательные сертификационные испытания проводятся для определения соответствия параметров продукции требованиям нормативных документов, указанных в перечне продукции, подлежащей обязательной сертификации в Украине [14]. Требования к проведению обязательной сертификации зерновых сеялок указаны в разделе 22 "Техника сельскохозяйственная. Подпункт 22.2. Машины для посева и посадки".

Общее количество показателей зерновых сеялок, контролируемых при испытаниях (табл. 2), составляет 348 наименований. Существующая система контроля и испытаний позволяет охватывать всю их номенклатуру. Однако, эта процедура выполняется не по каждой сеялке или партии машин.

Предъявительские испытания проводятся по каждой партии машин в процессе изготовления, при этом контролируется 167 показателей, что составляет 48,2% от их общего количества, не контролируется - 179 показателей (51,8%). Таким образом, большая часть показателей по каждой сеялке проходит бесконтрольно. При приемо-сдаточных испытаниях (одна сеялка с суточной партией изготовления) контролируется 263 показателя (75,6%), не контролируется 85 показателей (24,4%). В ходе периодических испытаний (один раз в два года) контролируется 340 показателей т.е. 97,7% от общего количества. Испытания сеялок на надежность проводят один раз в два года на одном образце и контролируют 348 показателей (100,0%). При сертификацион-

ных испытаниях (один раз в три года) количество проконтролированных показателей составляет 100,0%.

Исходя из выше приведенного анализа информации, можно говорить, что значительное количество показателей зерновых сеялок (98% от суточной партии) при приемо-сдаточных испытаниях не контролируется. Полный контроль осуществляется по одной сеялке раз в два года при испытаниях на надежность и раз в три года при сертификационных испытаниях. Все это свидетельствует о несовершенстве оценки качества сеялок.

Проблематичность оценки технических показателей качества зерновых сеялок при их приеме потребителем объясняется отсутствием сплошного контроля готовой продукции при всех видах испытаний. Для достоверного контроля сеялок при изготовлении следует использовать статистические методы контроля [15].

Статистические методы управления качеством продукции обладают в сравнении со сплошным контролем продукции таким важным преимуществом, как возможность обнаружения отклонения от технологического процесса не тогда, когда вся партия деталей изготовлена, а в процессе (когда можно своевременно вмешаться в процесс и скорректировать его). Статистические методы признаются важным условием рентабельного управления качеством, а также средством повышения эффективности производственных процессов и качества продукции.

Контроль является не самостоятельным видом деятельности по обеспечению качества, а составной частью системы управления качеством продукции. Графические зависимости (рис.1) показывают, что количество отказов сокращается с первых дней эксплуатации при внедрении системы управления качеством по сравнению с использованием только системы контроля, когда количество отказов удается уменьшить к концу второго года эксплуатации.

Мировой опыт управления качеством указывает на необходимость внедрения системы управления качеством [17] на всех этапах жизненного цикла изделия, включая его изготовление.

**КЛАССИФИКАЦИЯ ХАРАКТЕРНЫХ НЕСОВЕРШЕНСТВ ЗЕРНОВЫХ СЕЯЛОК
И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ УСТРАНЕНИЯ**

Таблица 2. – Перечень показателей зерновых сеялок, которые контролируются при испытаниях согласно требованиям технических условий

Table 2. – List of indices of grain seeders which are controlled while testing according to requirements of technical conditions

Группы показателей согласно ТУ	Количество нормированных показателей	Количество контролируемых показателей при испытаниях				
		предъявительских	приемосдаточных	периодических в условиях производителя	на надежность	сертификационных
1. Технические требования	252	167	237	244	252	252
1.1. НД на требования	7			7	7	7
1.2. Основные параметры и размеры	78		70	78	78	78
1.2.1. Технико-экономические и эксплуатационные	63		63	63	63	63
1.2.2. Надежность	8				8	8
1.2.3. Технологичность	2		2	2	2	2
1.2.4. Транспортабельность	3		3	3	3	3
1.2.5. Эргономичность	1		1	1	1	1
1.2.6. Показатели стандартизации и унификации	1		1	1	1	1
1.3. Характеристики сеялки	104	104	104	104	104	104
1.4. Комплектность	9	9	9	9	9	9
1.5. Маркировка	23	23	23	23	23	23
1.6. Упаковка	31	31	31	31	31	31
2. Показатель безопасности	93			93	93	93
2.1. Соответствие ДСТУ 2189-93						
2.1.1. Общие требования	65			65	65	65
2.1.2. Требования к отдельным видам машин						
2.1.2.1. Машины почвообрабатывающие ДСТУ2189-93	5			5	5	5
Требования по ТУ, разд. 2	23		23	23	23	23
3.5. Обкатка сеялки	3		3	3	3	3
Всего показателей	348					
контролируется, количество/%		167/ 48,2%	263 / 75,6%	340 / 97,7%	348/ 100%	348/ 100%
не контролируется, количество/%		179/ 51,8%	85 / 24,4%	8 / 2,3%	0	0

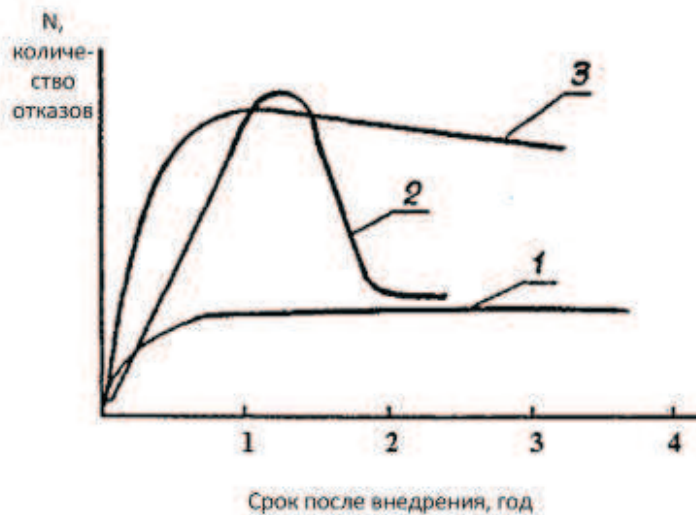


Рис. 1. Зависимость отказов от управления качеством:

Fig 1. Dependence of refusals on quality management:

1 - кривая отказов в условиях управления качеством 2 - кривая отказов в условиях системы контроля качества, 3 - кривая отказов в условиях отсутствия системы управления качеством и контроля.



Рис. 2. Модель системы менеджмента качества, основанная на процессном подходе

Fig. 2. Model of quality management system based on the process approach

Система менеджмента качества в соответствии со стандартами [12, 13] состоит из четырех основных элементов: ответственность руководства - управление ресурсами - управление процессами - оценка, анализ и улучшение (рис. 2).

Для подтверждения того, что продукция соответствует установленным требованиям

необходимо внедрять процессы оценки, анализа и улучшения, составной частью которых являются измерения. В указанных стандартах они должны осуществляться статистическими методами.

Для подтверждения того, что продукция соответствует установленным требованиям необходимо внедрять процессы оценки, ана-

КЛАССИФИКАЦИЯ ХАРАКТЕРНЫХ НЕСОВЕРШЕНСТВ ЗЕРНОВЫХ СЕЯЛОК И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ УСТРАНЕНИЯ

лиза и улучшения, составной частью которых являются измерения. В указанных стандартах они должны осуществляться статистическими методами. Контроль как составная часть системы управления качеством является также частью технологического процесса, которому отводится наибольшее внимание в нормативной документации единой системы технологической документации "ЕСТД".

Учитывая структуру и количество составляющих ГОСТ 3.1109-82 ЕСТД. «Термины и определения основных понятий», можно определить приоритетность технологий в общем количестве показателей качества промышленной продукции. Методы обработки, формообразования, сборки и контроля составляют 29,36% от общего количества терминов, используемых в ЕСТД

(рис. 3).

На кафедре технического сервиса и инженерного менеджмента НАУ разработана классификация контроля качества сельскохозяйственной техники и ее составных частей. Предложенная классификация позволяет упорядочить обоснование и выбор методов и средств контроля качества, представление их результатов и повысить эффективность принимаемых мер (организационного, методологического, технологического и конструкторского характера) по устранению выявленных дефектов. Разработаны карты статистического контроля с кодировкой контролируемых показателей. Это обеспечивает автоматическую обработку результатов контроля и их накопления для анализа и принятия решения.

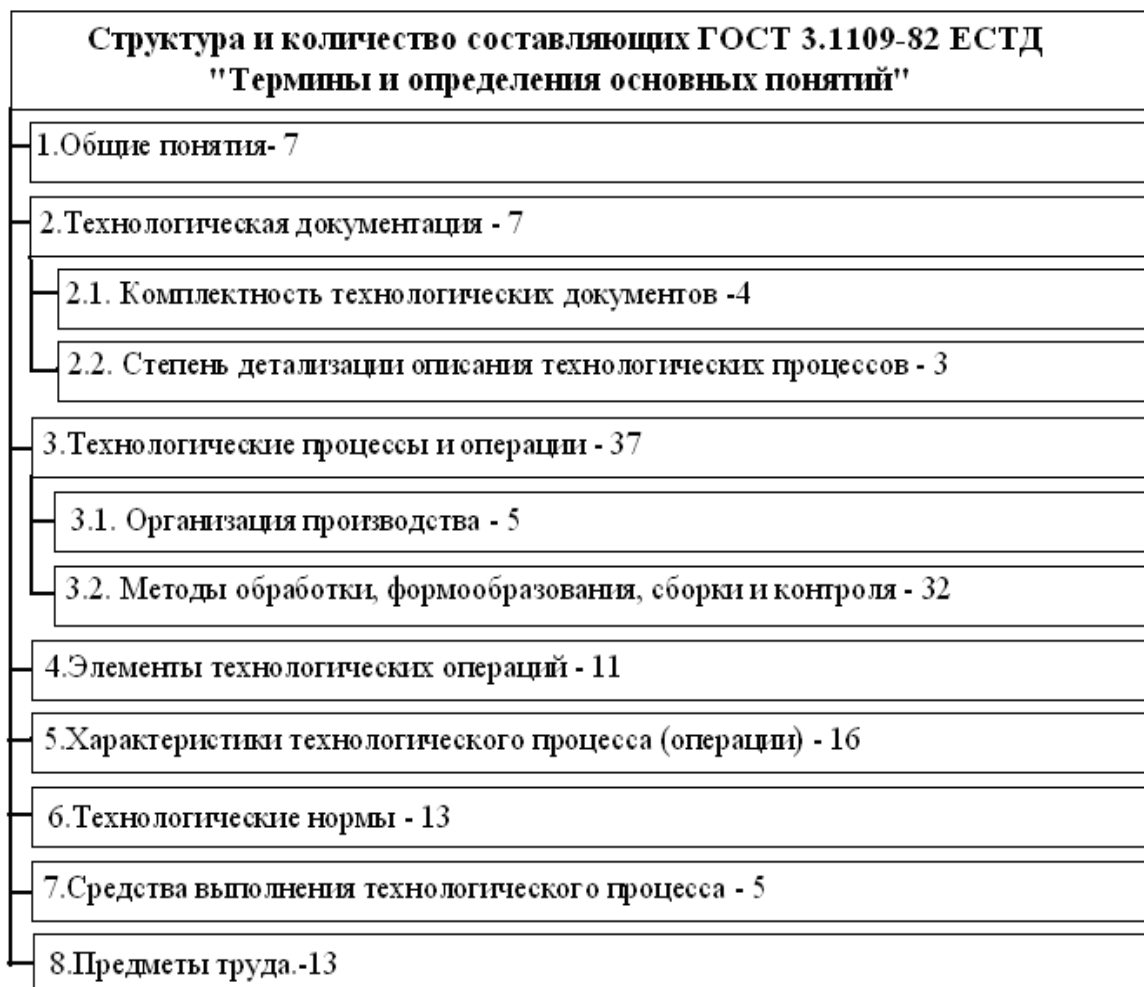


Рис. 3. Структура и количество составляющих ГОСТ 3.1109-82 ЕСТД. «Термины и определения основных понятий»

Fig. 3. Structure and management of components of GOST 3.1109-82 ESTD "Terms and determinations of main notions"

ВЫВОДЫ

1. Зерновые сеялки являются материальной и технологической основой для удовлетворения потребностей потребителей при возделывании зерновых культур.

2. Описаны несовершенства зерновых сеялок, определены соответствующие значения приемочного уровня дефектности для обеспечения статистического контроля. Выявленные несовершенства классифицированы по их значимости и влиянию на работоспособность и качество изготовления посевной машины.

3. Несовершенство изготовления зерновых сеялок связано с несоответствием технических условий и контроля их качества международным стандартам в процессе изготовления, приемки и сертификационных испытаний. Так, при приемо-сдаточных испытаниях (одна сеялка с суточной партии изготовления) контролируется 263 показателя (75,6%) и не контролируется 85 показателей (24,4%). При периодических испытаниях (один раз в два года) контролируется 340 показателей (97,7%). Испытания сеялок на надежность выполняется один раз в два года на одном образце. При сертификационных испытаниях количество проконтролированных показателей составляет 348 (100,0%). Однако они проводятся один раз в три года.

4. При анализе нормативной документации (ГОСТ 3.1109-82 ЕСТД. «Термины и определения основных понятий») установлена приоритетность технологических процессов и в их составе контроль.

5. При определении инновационных направлений технологических решений в производстве зерновых сеялок целесообразно за основу брать контроль ее качества. Для планирования и обеспечения достоверности результатов контроля рекомендуется использовать методы статистического приемочного контроля качества продукции, карт контроля, приемочного уровня дефектности "q" с учетом положений ГОСТ 18242-72.

6. На кафедре технического сервиса и инженерного менеджмента НУБИП Украины разработана классификация контроля качества сельскохозяйственной техники и ее составных частей. Предложенная классификация позволяет упорядочить обоснование и

выбор методов и средств контроля качества, представление их результатов и повысить эффективность принимаемых мер по устранению выявленных дефектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Poslannya Prezidenta Ukraini Kuchmi 2003: L. D. Verkhovniy Radi Ukraini. - 200.
2. Zubets M.V., Gukov Ya. S., Gritishin M.I. 2007: Aktualni problemi tekhnichnoi politiki v ag-rarnomu sektori Ukraini. K.: DIA. – 80.
- 3 Mashini dlya obrobitku gruntu ta sivbi 2009: Za red. V.I.Kravchuka, Yu.F. Melnika – Doslidnitske: UkrNDIPVT im. L. Pogorilogo. – 288.
- 4.Rublev V.I., Sudakova T.V., Saklakova Ye.V. 2004: Osnovy nauchnykh issledovaniy. Uchebnoye posobiye. – Stavropol: izd-vo SevKavGTU, 2004.-200 s.: il.
- 5.DSTU 3574-97. Patentni doslidzhennya. Osnovni polozhennya ta poryadok provedennya.
6. GOST 18242-72 Kachestvo produktsii. Statisticheskii priyemochnyy kontrol po alternaivnomu priznaku. Plany kontrolya.
7. TU U3.37-05784437-162-96 Sivalka zernotukova SZ-3,6A.
- 8.TU U3.37-05784437-163-96 Sivalka zernotukotrav'yana SZT-3,6A. (na zaminu TU 23.2.1871-87).
- 9.TU 23.3.827-2006 Sivalka zernotukotrav'yana SZT 3,6.
10. TU U3.37-05784437-164-96 Sivalka shirokozakhvatna zernotukova SZ-5,4.
11. GSTU 3-37-5-94 Mashini silskogospodarski. Zagalni tekhnichni umovi.
12. DSTU ISO 9001:2009 “Sistema upravlinnya yakistyu. Vimogi”.
13. DSTU ISO 9004-2001 “Sistemi upravlinnya yakistyu. Nastanovi shchodo polipshennya diyalnosti”.
14. Perelik produktsii, shcho pidlygae obov'yazkoviy sertifikatsii v Ukraini, zatverdzheny nakazom Derzhavnogo komitetu Ukraini z pitan tekhnichnogo reguluyannya ta spozhivchoi politiki vid 1 lyutogo 205 roku №28.
15. Rublov V.I., Voytyuk V.D. 2006: Upravlinnya yakistyu tekhnichnogo servisu i silskogospodar-skoi tekhniki pri postachanni: Posibnik; Za red.. V.I.Rublova. 2-e vidan. dop.-K.: Vidav. NAU. - 236.

16. DSTU 2189-93 SSBP. Mashini silsko-gospodarski navisni ta prichipni. Zagalni vimogi bezpeki.
17. Feigenbaum A.V. 1988: Total Quality - the Key to Effectiveness of Modern Economy // 32-d EOQC Animal Conference Proceedings.- Geneva.- 49.
18. GOST 3.1109-82 YeSTD. «Terminy i opredeleniya osnovnykh ponyatiy»
19. Rekomendatsii shchodo vprovadzhennya statistichnogo kontrolyu zernovikh sivalok. Kirovograd. « Chervona Zirka». Rublov V.I., Opalko V.G.
20. Kovbasa V. 2012: Analiz protsessa podachi zerna v rabochuyu kameru izmelchitelya / V. Kovbasa, V. Solomka, O. Solomka //MOTROL: International journal onoreration of farmandagri-foodindustry machinery. Lublin: – Vol. 14, No. 3. – 47-55.

**CLASSIFICATION OF DISTINCTIVE
IMPERFECTIONS OF GRAIN SEEDERS
AND DIRECTIONS OF THEIR
ELIMINATIONS**

Summary. Distinctive imperfections of grain seeders were determined and causes of their origin were established. Classification of imperfections of sowing machines was presented and proposals of their elimination were developed. Examples of proposals realization on improvement of grain seeders quality are given.

Key words: grain seeder, distinctive imperfections of seeders, causes of imperfections, directions of quality improvement.

КОНТАКТ ЧАСТИЦЫ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ С КОНУСНЫМ ДЕЛИТЕЛЕМ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА

Игорь Сивак

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15*

Igor Syvak

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str. 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Исследование влияния коэффициента парусности частиц минеральных удобрений на их скорость и траекторию перемещения по поверхности конусного делителя пневматического высевающего аппарата распределителя, который работает в технологиях точного земледелия.

Ключевые слова: делитель, частица, воздушноминеральная смесь, высевающий канал, транспортирование, воздушный поток, скольжение.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В современных пневматических распределителях для равномерного распределения воздушно - минеральной смеси в делительной головке высевающего аппарата используются различные типы делителей. Наиболее распространенные среди них: плоские, конусные, сферические и др. Логично, что все они являются симметричными фигурами.

Поскольку поток минеральных удобрений в пневматических высевающих аппаратах движется по закрытым трубопроводам и не зависит от действия факторов среды - такие распределители являются более точными реализаторами внесения технологического материала, по сравнению с другими аналогами и имеют достаточно широкий спектр применения. Поэтому существует актуальность исследования равномерности распределения частиц минеральных удобрений между высевающими каналами делительной головки пневматического высевающего аппарата с использованием, например, делителя конусного типа.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Анализ конструкторских решений делителей сыпучих материалов, проведенный в направлении выявления их технологического соответствия для получения равномерности распределения сыпучих материалов, показал целесообразность применения делителей симметричных форм, которые в отличие от других технических решений позволяют в процессе контакта с воздушно-материальной смесью равномерно распределять ее между высевающими каналами [10,13,17]. Рядом авторов также проводились исследования [4, 8, 18] по исследованию разных форм делителей для внесения минеральных удобрений с использованием пневматических аппаратов. Однако результаты сравнительной оценки равномерности внесения материалов показали [2], что конусные делители пневматических высевающих аппаратов способствуют повышению точности реализации эпюры распределения материала в направлении перемещения агрегата.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование взаимодействия частицы минеральных гранулированных удобрений с делителем конусного типа пневматического высевающего аппарата на предмет скорости перемещения частицы по телу делителя и получения возможных траекторий ее полета.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Сначала важно определить начальные условия взаимодействия частицы минеральных удобрений с делителем конусного типа.

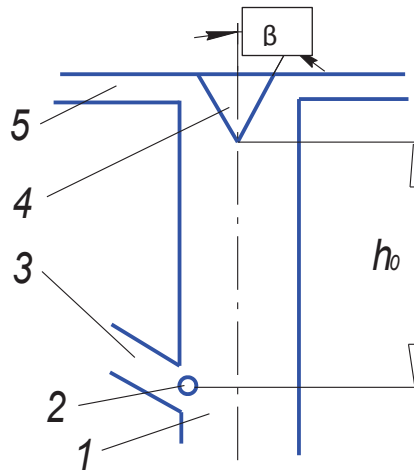


Рис. 1. Схема положения частицы минеральных удобрений и делителя в пневматическом высевном аппарате:

Fig. 1. Scheme of particle position of fertilizers and a divider in pneumatic sowing unit:

1 - транспортирующий трубопровод, 2 - частица минеральных удобрений, 3 - дозирующее устройство, 4 - делитель, 5 - высевные каналы.

Для этого рассмотрим конусный делитель, вершина которого находится на расстоянии h_0 от точки вхождения в транспортирующий трубопровод частицы минеральных удобрений (рис. 1).

Боковая поверхность конусного делителя описывается уравнением:

$$\text{при: } x \geq h_0 \quad y = (x - h_0) \operatorname{tg} \left(\frac{\beta}{2} \right), \quad (1)$$

где: β - угол при вершине конусной делителя.

Определим точку удара частицы минеральных удобрений по телу делителя, т.е. точку начала взаимодействия частицы с поверхностью делителя конусного типа (рис. 2).

Точка удара c_1 частицы минеральных удобрений по телу делителя, находится на

расстоянии y_{c_1} от оси транспортирующего трубопровода, а следовательно и от оси делителя. Расстояние от точки удара c_1 частицы минеральных удобрений по телу делителя к точке O_1 вершины конуса по его образующей, определяется:

$$O_1c_1 = \frac{y_{c_1}}{\sin \frac{\beta}{2}}. \quad (2)$$

Скорость воздушного потока, который будет действовать в точке c_1 , равна [1]:

$$V_{nc_1} = V_{n\max} \left[1 - \left(\frac{y_{c_1}}{r} \right)^{k_1} \right]^2, \quad (3)$$

где: k_1 - коэффициент интенсивности изменения скорости потока; r - радиус транспортирующего трубопровода.

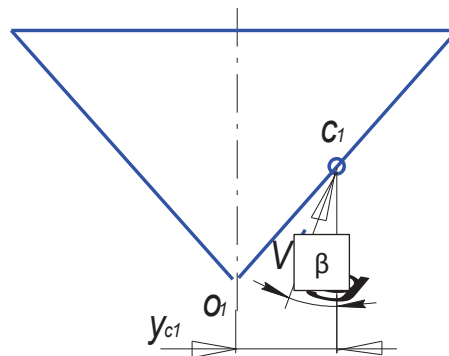


Рис. 2. Точка удара частицы минеральных удобрений по телу делителя.

Fig. 2. Point of impact particles of mineral fertilizers on body divider.

КОНТАКТ ЧАСТИЦЫ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ С КОНУСНЫМ ДЕЛИТЕЛЕМ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА

Учитывая, что скорость частицы минеральных удобрений состоит из проекций V_x и V_y , то результирующая скорость V' частицы до удара, будет равна [2]:

$$V' = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \quad (4)$$

Результирующая скорость V' частицы до удара, направлена под некоторым углом γ к оси x :

$$\gamma = \arccos \frac{V_x}{V'} = \arccos \frac{V_x}{\sqrt{V_x^2 + V_y^2}} \quad (5)$$

1. После этого возможны два случая удара частицы минеральных удобрений по телу конусного делителя [3]:

1) удар упругий, с последующим движением по высевным каналам;

2) удар не упругий, со скольжением по поверхности делителя.

Рассмотрим упругий удар частицы минеральных удобрений по конусному делителю (рис. 3).

Скорость центра тяжести частицы минеральных удобрений перед ударом, равна, по теореме косинусов:

$$V = \sqrt{V_{nc_1}^2 + V_x^2 + V_y^2 - 2V_{nc_1} \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \cos \gamma} \quad (6)$$

Угол ζ , под которым направлена скорость в начале удара, равен:

$$\zeta = \frac{\beta}{2} - \arccos \left(\frac{V_{nc_1} + \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \cos \gamma}{V} \right) \quad (7)$$

Определим проекции скорости V центра тяжести частицы минеральных удобрений в начале удара на оси n и τ (ось τ направлена вдоль образующей конусного делителя, а ось n - перпендикулярна оси τ в точке контакта частицы с делителем):

$$V_\tau = V \cos \zeta; V_n = V \sin \zeta, \quad (8)$$

После отражения частица движется под углом ξ к направлению образующей

$$k_g = \frac{tg(90^\circ - \zeta)}{tg(90^\circ - \xi)} \quad (9)$$

где: k_g - коэффициент восстановления частицы при ударе.

$$k_g = \frac{tg \xi}{tg \zeta}, \quad (10)$$

откуда $tg \xi = k_g tg \zeta$.

Проекция общей скорости тел на ось n в конце удара:

$$u_n = \frac{m_q V_n}{m_q + m_n} = \frac{m_q V \sin \zeta}{m_q + m_n} \quad (11)$$

где: m_q - масса частицы минеральных удобрений; m_n - масса делителя.

Тогда проекция скорости тел в конце удара, равна:

$$u_n = u_n + k_g(u_n - V_n) = \frac{m_q V \sin \zeta}{m_q + m_n} + k_g \left(\frac{m_q V \sin \zeta}{m_q + m_n} - V \sin \zeta \right) = \frac{m_q V \sin \zeta}{m_q + m_n} - \frac{k_g m_n V \sin \zeta}{m_q + m_n} = \frac{V \sin \zeta}{m_q + m_n} (m_q - k_g m_n) \quad (12)$$

Касательная составляющая:

$$u_{\tau_q} = V_{\tau_q} = V \cos \zeta. \quad (13)$$

Модуль скорости центра тяжести частицы минеральных удобрений в конце удара определяется:

$$u = \sqrt{u_n^2 + u_{\tau_q}^2} = V \cos \zeta \sqrt{tg^2 \zeta \left(\frac{m_q - k_g m_n}{m_q + m_n} \right)^2 + 1} \quad (14)$$

Тогда:

$$ctg \xi = \left| \frac{u_n}{u_{\tau_q}} \right| = \frac{tg \zeta}{m_q + m_n} (m_q - k_g m_n) \quad (15)$$

Из анализа зависимости (15) можно сделать вывод, что угол отражения зависит от массы частицы минеральных удобрений (рис. 4).

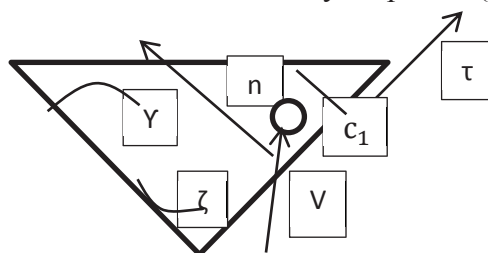


Рис. 3. Исследование упругого удара частицы минеральных удобрений по конусному делителю.

Fig. 3. Study of elastic collision particles of mineral fertilizers on tapered divider.

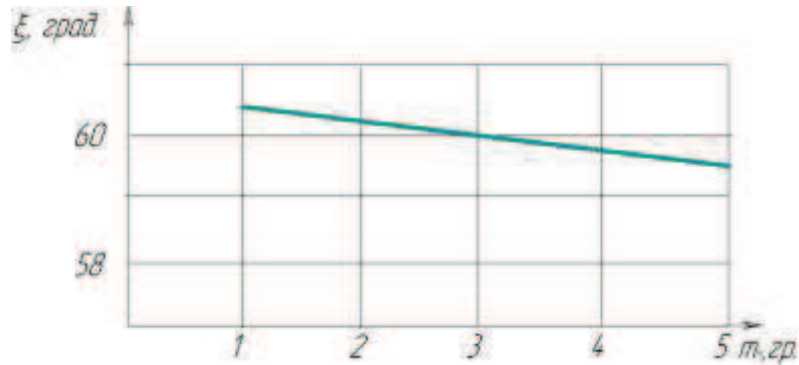


Рис. 4. Зависимость угла отражения частицы минеральных удобрений от ее массы.
Fig. 4. Dependence of the reflection angle of the particle fertilizer on its mass

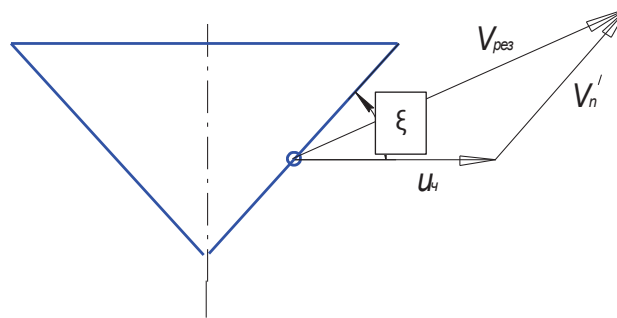


Рис. 5. Определение результирующей скорости отраженной частицы минудобрений.
Fig. 5. Determination of the resultant velocity of the reflected particle fertilizer.

Предположим, что отраженная частица минеральных удобрений, после удара, встретится с воздушным потоком, который будет действовать параллельно образующей конусного делителя со скоростью V'_n (рис. 5). Тогда результирующая скорость частицы равна: $\vec{V}_{рез} = \vec{V}'_n + \vec{u}_n$, или:

$$V_{рез} = \sqrt{u_n^2 + V_n'^2 - 2V'_n u_n \cos(180^\circ - \xi)} = \sqrt{u_n^2 + V_n'^2 + 2V'_n u_n \cos \xi} \quad (16)$$

При анализе выражений (15) и (16), которые подтверждают, что траектории движения частицы минеральных удобрений зависят от ее массы, можно сделать вывод, о неравномерности распределения материала конусным делителем, при условии удара частицы по неподвижной поверхности конуса.

При условии не упругого удара (т.е. $\xi = 0$), частица скользит по неподвижной поверхности конуса (рис. 6). При этом движение частицы по поверхности конуса описывается векторным уравнением:

$$m_q \frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{G} + \vec{N} + \vec{R} + \vec{F}_{mp} \quad (17)$$

где: G - сила тяжести, $G = m_q g$, g - ускорение свободного падения; N - нормальная реакция поверхности; R - сила давления воздуха,

$$R = m_q k_n (V_n - V)^2,$$

где: k_n - коэффициент парусности;

F_{mp} - Сила трения скольжения,

$$F_{mp} = fN,$$

где: f - коэффициент трения скольжения частицы по поверхности конуса.

$$\left. \begin{aligned} m_q \frac{dV}{dt} &= R + F_{mp} - G \cos \frac{\beta}{2} \\ 0 &= -N + G \sin \frac{\beta}{2} \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

Из второго уравнения системы (18) определим нормальную реакцию поверхности:

$$N = G \sin \frac{\beta}{2} \quad (19)$$

Тогда:

$$F_{mp} = fN = fG \sin \frac{\beta}{2} = f m_q g \sin \frac{\beta}{2}. \quad (20)$$

КОНТАКТ ЧАСТИЦЫ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ С КОНУСНЫМ ДЕЛИТЕЛЕМ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА

После подстановки в первое уравнение системы (18):

$$m_u \frac{dV_u}{dt} = m_u k_n (V_n - V_u)^2 + f m_u g \sin \frac{\beta}{2} - m_u g \cos \frac{\beta}{2} \quad (21)$$

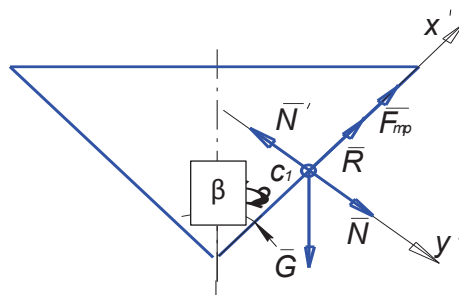


Рис. 6. Схема сил, при скольжении частицы по поверхности конусного делителя.
Fig. 6. Diagram of forces at sliding particles on surface of cone splitter.

Поскольку движение возможно лишь вдоль образующей конусного делителя (вдоль оси x'), уравнения движения частицы (17) в проекциях на оси x' и y' имеет вид. После алгебраических преобразований, уравнение (21) примет вид:

$$\frac{dV_u}{(V_n - V_u)^2 + \frac{fg}{k_n} \sin \frac{\beta}{2} - \frac{g}{k_n} \cos \frac{\beta}{2}} = k_n dt \quad (22)$$

Для упрощения выражения (22) проведем замену:

$$-\frac{fg}{k_n} \sin \frac{\beta}{2} + \frac{g}{k_n} \cos \frac{\beta}{2} = B,$$

тогда, выражение (20) примет вид

$$\frac{d(V_n - V_u)}{(V_n - V_u)^2 - B} = -k_n dt \quad (23)$$

После интегрирования уравнения (23), получим выражение:

$$\frac{1}{\sqrt{B}} \operatorname{arth} \left(\frac{V_n - V_u}{\sqrt{B}} \right) = k_n t + C_3 \quad (24)$$

где: C_3 - постоянная интегрирования.

При начальных условиях $t = 0$: $V_u = V \cos \frac{\beta}{2}$, постоянная интегрирования равна:

$$C_3 = \frac{1}{\sqrt{B}} \operatorname{arth} \left(\frac{V_n - V \cos \frac{\beta}{2}}{\sqrt{B}} \right).$$

После подстановки постоянной интегрирования в выражение (24), получим:

$$\operatorname{arth} \left(\frac{V_n - V_u}{\sqrt{B}} \right) = \sqrt{B} k_n t + \operatorname{arth} \left(\frac{V_n - V \cos \frac{\beta}{2}}{\sqrt{B}} \right). \quad (25)$$

С уравнения (25) определяется можно определить скорость скольжения частицы минеральных удобрений V_u по поверхности конусного делителя:

$$V_u = V_n - \sqrt{-\frac{fg}{k_n} \sin \frac{\beta}{2} + \frac{g}{k_n} \cos \frac{\beta}{2}} * \left\{ \sqrt{-\frac{fg}{k_n} \sin \frac{\beta}{2} + \frac{g}{k_n} \cos \frac{\beta}{2}} k_n t + \operatorname{arth} \left(\frac{V_n - V \cos \frac{\beta}{2}}{\sqrt{-\frac{fg}{k_n} \sin \frac{\beta}{2} + \frac{g}{k_n} \cos \frac{\beta}{2}}} \right) \right\}. \quad (26)$$

Следовательно, при скольжении частиц минеральных удобрений по телу конусного делителя, происходят определенные потери скорости перемещения частиц, а также при различных их массовых характеристиках, скорость скольжения V_u будет разной (рис. 7).

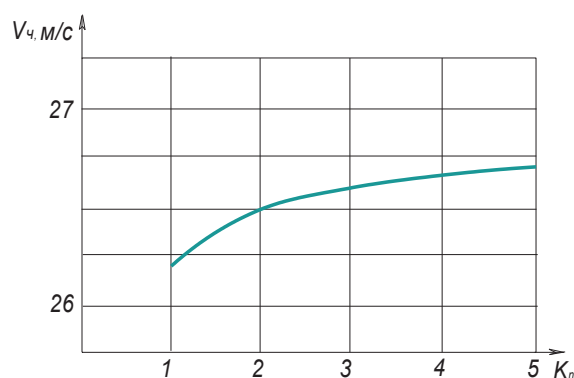


Рис. 7. Зависимость скорости скольжения частицы минеральных удобрений по конусному делителю от ее коэффициента парусности.

Fig. 7. Relationship between the slip velocity of particle of mineral fertilizers from its tapered divider ratio Sail

ВЫВОДЫ

Разная скорость скольжения частиц минеральных удобрений является причиной различных траекторий движения частиц минеральных удобрений по телу делителя, и как следствие, нарушением равномерности распределения воздушно-минудобенной смеси между высевающих каналами делительной головки пневматического высевающего аппарата. Это дает возможность сделать вывод, что для повышения точности распределения минеральных удобрений в делительной головке пневматического высевающего аппарата - нужно минимизировать тело делителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. A. De Carli, 2009: Ed., In Preprints, IFAC Workshop on Motion Control, In tell. Automat., Perugia, Oct.19.
2. F. Pfeiffer and G. Brandenburg 1995: Ed., in Proc. 3rd IFAC Workshop on Motion Control, Munich, Oct. 15.
3. H. Kazerooni and Y. Hori 1994: Eds., in Proc. 3rd Int. Workshop on advanced Motion Control, Berkeley, Mar. 14.
4. I. Luh, M. Walker, and R. Paul 1980: Resolved-acceleration control vol. 28. - no3 -. 468-474.
5. K. Ohishi et al.1993: Eds., I Robot Sor. Jpn., Special Issue on advanced motion control.- Vol.11-No.4.
6. K. Ohnishi 1990: Ed., in Proc. Int. Workshop on advanced Motion Control, Yokohama, Apr. 90.
7. O. Khatib 1987: A unified approach for motion and force control of robotic manipulators //IEEEI. Robot., Automat.-vol. RA-3-no. 1.- 43-53.
8. S. Okuma 1992: Ed., In Proc. 2nd Int. Workshop on Advanced Motion Control, Nagoya, Mar. 92.
9. Yaskawa Electronic Co. 1971: Registered Trade Mark no.46-32713, 71.
10. Spong M. 1987: Modeling and control of elastic joint robots/M. Spong//I. Dynamic Syst., Measurement, Control. - V.109, No. 4. - 310-319.
11. Ferretti G. 2004: Impedance control for elastic joint in industrial manipulators/G.Ferretti, G. Magnani, P. Rocco//IEEE Trans. Robot. Automat. - V.20, No.3. - 488-498.
12. Ott C. 2008: On the passivity - based impedance control of flexible joint robots/ C. Ott, A. Albu - Schaeffer, A. Kugi, G. Hirzinger//IEEE Trans. Robot. -V.24, No.2. - 416 - 429.
13. Thummel M. 2005: Vibration control of elastic joint robots by inverse dynamics models/M. Thummel, M. Otter, I. Bals//Solid Mechan. Appl. -No. 130. -343-354.
14. Zollo L. 2005: Compliance control for an anthropomorphic robot with elastic joints: Theory and experiments/ L. Zollo, B. Siciliano, A.D. Suca, E. Guglielmelli et al.//I. Lynam. Syst., measurement, Control. - V.127, No3. -321-328.
15. Dhaouadi R. 2003: A new Dynamic model of hysteresis in Harmonic Drivers/R. Dhaouadi, F.H. Ghorbel, P.S. Gandhi//IEEE Trans. Industrial Electron. -V.50, No. 6. - 1165 - 1171.
16. Taghirad H. 2005: A nonlinear model for harmonic drive friction and compliance//H. Taghirad, P. Delanger//Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Automat. (ICRA 97). -248 - 253.
17. Tjalijowidodo T. 2005: Modeling and identification of nonlinear torsional stiffness in Harmonic Drive/T. Tjalijowidodo, F. Al - Bender. H.V. Brussel// Proc. 5 Eur. nonlinear Dynam. Conf. - 1809 - 1816.
18. Al-Bender F. 2008: characterization of friction force dynamics/F. Al-Bender, I. Swevers//IEEE Control Syst. magazine. - V.28, No. 6. - 64-81.
19. Worden K. 2007: Identification of pre-sliding and sliding friction dynamics: Grey box and black-box models/K. Worden, C.X. Wong, U. Parlitz, A. Hornstein, et al // Mechan. Syst. Signal Proc. -V.21. - №1. - 514-534.
20. Rizos D. 2009: Friction identification based upon the Sugre and Maxwell Slip models/D. Rizos, S. Fassois//IEEE Trans. Control syst. technology. - V.17.-No. 1- 153-160.
21. Ruderman M. 2009: Robust identification of nonlinear frictional dynamics for advanced controller design/M. Ruderman, F. Hoffmann, I.Kretter, I.Brang, et al. //Proc. IFAC 15 Sympos. Syst. Identificat. (SYSID2009). - Saint - Malo, France, -474-479.

22. Seyffertl W. 1995: Nonlinear modeling and parameter identification of harmonic Drive robotic transmissions/ W. Seyfferth, A.I. Maghzal, I. Angeles//Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Automat – 3027-3032.

**CONTACT MATTER OF FERTILIZERS
WITH CONICAL DIVISOR
OF PNEUMATIC SOWING UNIT**

Summary. The influence of the coefficient of lateral particle of mineral fertilizers on their speed and trajectory of movement on the surface of cone splitter pneumatic sowing machine distributor who works in technology for precision farming.

Key words: divider, particle mixture seeding channel, transportation, air flow, slipping.

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ, КАК ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ДТП

Степан Лехман, Мария Панфилова

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

Stepan Lehman, Mariya Panphylova

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str. 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. В статье описаны элементы методик и некоторые результаты исследования возможного возникновения опасных последствий от потенциальных опасностей при функционировании транспортных средств, как эргативных систем, в условиях аграрного производства.

Ключевые слова: эргатические системы, логические модели и формулы, истинные изречения, опасные последствия.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Специфика ведения современных фермерских хозяйств, из-за их несовершенства может влиять на развитие опасных процессов при выполнении различных технологических операций на производстве.

Известно, что многие фермерские хозяйства расположены в непосредственной близости от различных по интенсивности движения транспортных магистралей. При этом на таких магистралях иногда можно заметить транспортные средства фермерских хозяйств из значительным количеством различных потенциальных опасностей.

Исследования и статистика свидетельствуют о том, что потенциальные опасности иногда возникают при выполнении транспортных операций. И как следствие – за последние годы замечено значительное возрастание аварий и травм на таких процессах. Это может свидетельствовать о том, что проблема снижения аварийности и травматизма при использовании различных транспортных средств в аграрном производстве еще далека до своего решения.

Наши предварительные исследования показали, что в некоторых фермерских хозяйствах при транспортировании сельскохозяйственной продукции используются различные транспортные средства, которые по тех-

ническому состоянию не всегда отвечают существующим требованиям. При этом водителями таких транспортных средств иногда бывают сами фермеры либо члены их семей, которые не имеют достаточного производственного опыта и необходимого профессионального уровня.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Известно, что в любом производстве каждый работник, применяемые им различные технические средства и среда, в которой выполняется определенный технологический процесс образуют соответствующую эргатическую систему. Такие системы достаточно полно описаны и исследованы в различных научных источниках [4-7, 10-12, 20]. При этом показано, что каждый элемент такой системы «Человек», «Техническое средство» и соответствующая «Среда» являются источниками потенциальных производственных опасностей. В работе [8] впервые описаны потенциальные опасности, которые могут возникать в условиях производства от каждого из названных источников в условиях аграрного производства. Поэтому мы разработали специальные методики и выполнили некоторые исследования потенциальных опасностей при функционировании эргатических систем в аграрном производстве и на транспорте [9, 11-14, 15-17].

В научной литературе достаточно широко опубликованы результаты различных исследований эргатических систем функционирующих на различных технологических процессах.

Благодаря последним исследованиям данной проблемы получены результаты, обеспечивающие прогнозирование образования опасных процессов и их возможных по-

следствий [19] и оперативный выбор обоснованных мероприятий для предупреждения опасных последствий на исследуемых объектах.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

На уровне аграрного предприятия, независимо от формы собственности, разработана эффективная система управления безопасностью работников на производстве. Такой системой предусматривается оперативное выявление и анализ потенциальных опасностей с принятием экстренных мероприятий по предупреждению возможных опасных последствий.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На протяжении последних нескольких лет нами выполнены исследования потенциальных опасностей на различных технологических процессах фермерских хозяйств и аграрных предприятий. При этом были применены новые подходы к изучению источников потенциальных опасностей и исследованы закономерности зарождения, развития и возможного завершения различных опасных процессов в аграрных хозяйствах и на транспорте.

Для выполнения таких исследований нами разработаны новые оригинальные методики. В основу таких методик были положены известные операции алгебры логики. При этом мы каждую потенциальную производственную опасность, выявленную на любом рабочем месте, оценивали за ее источником, видом (опасное условие и опасное действие) и соответствующим содержанием. Доказано, что это не противоречило основным принципам и законам алгебры логики.

Известно, что при исследовании сложных явлений, информацию о причинах возникновения которых невозможно определить с помощью соответствующих экспериментов, учеными мировой науки был разработан метод, базирующийся на применении основных операций алгебры логики. При этом применялись основные логические операции «дизъюнкция», «конъюнкция» и «импликация». Соответственно данным операциям были разработаны символы логических опе-

раторов «ИЛИ», «И», «ЗАПРЕЩЕНИЕ». Построенная на основании использования данных операторов логическая модель получила название «дерево отказов». Этот метод нашел широкое применение и используется некоторыми учеными и в настоящее время [1-3, 6, 7].

Ввиду того, что описанный метод исследований оказался достаточно громоздким при оперативных исследованиях, мы разработали новый метод.

Характерной особенностью данного метода является точное формулирование каждой потенциальной опасности, независимо от источника возникновения, у виде истинных изречений. При таком описании каждого опасного процесса мы придерживались четкой природной последовательности возникновения таких опасностей, возможного взаимодействия их из событиями – условиями от его зарождения и до возможного завершения.

При условиях точного определения потенциальных опасностей и четкого понимания их содержания, особенно при выполнении логических операций, можно точно описать содержание исследуемого опасного процесса.

При этом следует заметить, что выявление и анализ потенциальных опасностей на различных производственных процессах должно быть прерогативами самих работников, руководителей производственных подразделений и соответствующей службы охраны труда, деятельность которой предусмотрена соответствующими нормативными документами. А это означает, что сами работники должны осознавать возможные последствия от потенциальных опасностей, а соответствующие руководители и служба охраны труда должны быть подготовлены по специальным программам и иметь высокий профессиональный уровень.

Соответственно специалист по охране труда предприятия должен быть подготовлен по специальным программам, а его функции должны быть четко определены. Это вызвано тем, что профессиональная деятельность данного специалиста должна быть направлена на постоянное выявление потенциальных опасностей, выполнение экстренного их анализа с немедленным принятием соответ-

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ, КАК ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ДТП

ствующих мероприятий. При выполнении исследований установлено, что любые опасные процессы, возникающих при функционировании эргативных систем в АПК, могут образовываться из определенного количества сложных событий-ситуаций. Такие ситуации могут последовательно следовать одна за другой через определенные промежутки времени [10]. В отдельных случаях при функционировании такой системы опасный процесс может останавливаться, «возвращаться назад» и в зависимости от условий среды либо других причин, снова возникать и приводить к возникновению опасного последствия.

Следует заметить, что каждое сложное событие-ситуация, характеризующее определенное состояние функционирующей системы может образовываться с определенного количества стохастически независимых между собой событий-опасностей. При этом такие события должны быть ординарными и стохастически независимыми между собой.

Так на основании исследований доказано, что каждый исследуемый опасный процесс состоит из определенного количества событий-ситуаций. В свою очередь каждая такая ситуация может образовываться с определенного количества ординарных случайных событий. Если каждое из ординарных событий и ситуаций описать в виде истинных изречений, то мы получим формулу случайного опасного процесса. При этом заметим, что такой процесс описывается и исследуется за законами прямой логики, в отличие от описанных логических процессов в известных научных источниках [1-3, 5-7, 18, 19].

Для примера приведем описание такого опасного процесса у виде истинных изречений:

„Тракторист-фермер не имеет достаточной профессиональной подготовки (A) и необходимого опыта (B), управляет тракторным агрегатом (колесный трактор с прицепом) при транспортировании грубых кормов для животноводства на участке автомобильной дороги (D). Прицеп загружен рулонами соломы так (E), что значительно усложняет контроль за состоянием дороги за агрегатом (F). У тракторного прицепа не-

исправный „стоп-сигнал” (G) и указатели поворотов (I). Перед левым поворотом на полевую дорогу агрегат снизил скорость движения (L) и при отсутствии встречного транспорта (M), выполнил резкий левый поворот (N).

В этот момент за тракторным агрегатом двигался легковой автомобиль, который при приближении к тракторному агрегату (R) и при отсутствии встречного транспорт (S), резко свернул на встречную полосу движения (Q). При этом водитель легкового автомобиля заметил поворот тракторного агрегата (X), резко затормозил (Y), но при этом не хватило пути для остановки (Z) и он столкнулся с тракторным прицепом (W). Последствиями были значительные повреждения автомобиля и тракторного прицепа (V), что квалифицируется как ДТП.

На рис. 1 показана часть идентификационной модели с обозначением опасных явлений, которые могут возникнуть при функционировании тракторного транспортного агрегата до столкновения его с легковым автомобилем. С рисунка видно, что тракторный агрегат и легковой автомобиль, как эргатические системы, сначала функционируют независимо одна от другой. Но со временем они оказываются на общей дороге в общей среде, где между ними могут возникнуть определенные взаимодействия. Используя фрагмент идентификационной модели опасного процесса (рис. 1) исследуем ординарность и стохастическую независимость между случайными событиями совокупности A, B, E, G, I, L и M .

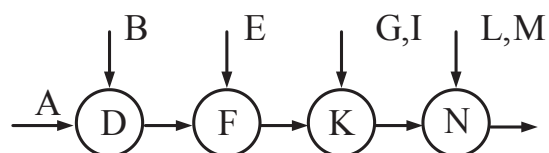


Рис. 1. Фрагмент идентификационной модели ДТП.

Fig. 1. Fragment of model identification accident.

На основании анализа содержания событий A и B установлено, что они являются ординарными и стохастически независимыми между собой. Событие E может возник-

нуть и существовать независимо от событий, которые образуют сложное событий D . При этом события G, I, L и M могут возникнуть независимо от возникновения или не возникновения всех стохастически независимых событий-опасностей. Это свидетельствует о том, что все исследуемые ординарные события-опасности имеют способность возникать независимо от каждого события данной совокупности. На основании такого анализа можно утверждать, что описанные события образуют соответствующее множество и при его исследовании можно применять известные операции над множествами.

События-ситуации совокупности D, F, K и N являются зависимыми между собой и без возникновения каждого из предыдущих, последующее событие не может возникнуть. Анализируя фрагмент идентификационной модели, показанной на рис. 1, видно, что ДТП может возникнуть, если автомобиль, обгоняющий тракторный агрегат у месте выполнения несанкционированного левого поворота, столкнется с тракторным транспортным агрегатом. С этой целью представим другую часть общей идентификационной модели ДТП.

На рис. 2 показано фрагмент идентификационной модели, иллюстрирующей возможное стечение опасных событий с возникновением столкновения двух транспортных средств. Тогда событие, характеризующее полученные повреждения транспортных средств (Π), получит название ДТП.

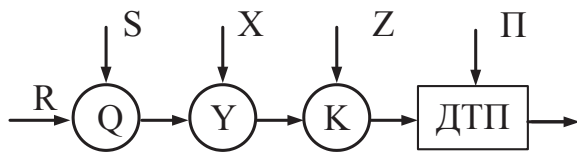


Рис. 2. Фрагмент идентификационной логической модели возникновения ДТП
Fig. 2. Fragment identification local model of accident

На рис. 2 показан фрагмент логической идентификационной модели, характеризующей возникновение столкновений транспортных средств (событие K).

Анализируя фрагмент логической модели (рис. 1) можно сделать вывод о том, что событие N возникнет при условии возникно-

вения всех событий совокупности A, B, E, G, I, L и M . Применяв операцию «конъюнкция» запишем формулу для определения события N :

$$N = AiBiEiGiLiM \quad (1)$$

Так как формула (1) характеризует логическую операцию пересечения множеств, то ее можно записать в таком виде:

$$N = A \cap B \cap E \cap G \cap I \cap L \cap M \quad (2)$$

где: \cap - символ логической операции пересечения множеств.

Так как все события, входящие в состав данной формулы являются случайными, то формулу (2) можно использовать для определения количественной характеристики события N . Тогда формула (2) будет иметь такой вид:

$$P_N = P_A \cdot P_B \cdot P_E \cdot P_G \cdot P_I \cdot P_L \cdot P_M, \quad (3)$$

где: P - символ вероятности возникновения каждого события указанной совокупности.

Аналогичную операцию можно выполнить, используя фрагмент логической модели (рис. 2). Тогда получим вторую формулу, которая будет иметь такой вид:

$$P_W = P_R \cdot P_S \cdot P_X \cdot P_Z \quad (4)$$

где: P - символ вероятности возникновения событий R, S, X и Z .

ВЫВОД

Формулы 3 и 4 можно использовать при обосновании выбора мероприятия относительно предупреждения возможности возникновения событий N и W . Для этого можно использовать формулы 3 и 4. Если из данных формул устранить хоть одно ординарное событие, то соответствующая вероятность данного события будет иметь нулевое значение. Тогда вероятности событий $P_N = 0$ и $P_W = 0$. Последствий не будет.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aleksandrov A.B. 2002: Ispolzovaniye metoda dereva otkazov dlya analiza neschastnykh sluchav/ Aleksandrov A.B., Martynyuk V.F., Fomin S.L. // Bezopasnost zhiznedeyatelnosti, № 9. – 6-11.
2. Andriy Novitskiy. 2011: Analiz nadiynosti zasobiv dlya prigotuvannya i rozdavannya kor-

- miv metodom dereva vidmov. / Andriy Novitskiy, Oleksandr Bannyi // Motrol. 13B 117-123.
3. Andrey Novitskiy. 2012: Logiko-veroyatnostnyye modeli nadezhnosti slozhnoy tekhniki / Andrey Novitskiy, Aleksandr Bannyi // Motrol. 14-№ 3. 184-190.
4. V.Khubka. 1987: Teoriya tekhnicheskikh sistem. / V.Khubka. Perevod s nemetskogo. M.: Mir. 205.
5. Devid B. 1979: Braun. Analiz i razrabotka sistem obespecheniya tekhniki bezopasnosti. / Devid B. Braun. M.: Mashinostroyeniye. – 359.
6. Dillon B. 1984: Inzhenernyye metody obespecheniya nadezhnosti sistem / Dillon B., Singkh Ch. – M.: Mir. – 318.
7. Ye. Dzh. Khenli. 1987: Nadiynisne proyektuvannya tekhnicheskikh sistem i otsinka risku / Ye. Dzh. Khenli, Kh. Kumamoto. Perekl. z angl..-K.: „Vishcha shkola”. – 543.
8. Lekhman S.D. 1986: Usloviya formirovaniya opasnykh situatsiy pri ekspluatatsii s.kh tekhniki. / Lekhman S.D., Gorkusha P.M //Okhrana truda v s.khve. Sb. nauchnykh trudov. Vyp. 1. – Vilnyus. s.kh. akademiya. Kaunas. – 135-139.
9. Lekhman S.D. 1997: Metodologichni printsipi rozrobki sistemi upravlinnya okhoronoyu pratsi na pidpriyemstvi. / Lekhman S.D. // Informatsiynyi byuletен z okhoroni pratsi № 1. Derzhavniy komitet z naglyadu za okhoronoyu pratsi. K. – 31-34.
10. S.D. Lekhman. 1999: Avariyni i travmonebezpechni situatsii pri funktsionuvanni lyudino-mashinnikh sistem u s.-g. virobnitstvi. Zb.nauk. prats NAU. „Mekhanizatsiya s.-g. virobnitstva. T.5. –K.: NAU. – 33-36.
11. Lekhman S.D 2001: Sistema upravlinnya pro-fesiynim rizikom na s.g. pidpriyemstvi. /Lekhman S.D. // Zb. naukovikh prats 3-i MNTK „Motorizatsiya i yenergetika rilnitstva”. Motrol. Lyublin. Polshcha. - 146-150.
12. Lekhman S.D. 2003: Zakonomirnosti utvoren-nya nebezpechnikh situatsiy na virobnichikh protsesakh v APK ta ikh imovirnisna otsinka. / Lekhman S.D. // Naukoviy visnik NAU. 60. K.: NAU. – 220- 225.
13. Lekhman S.D. 2007: Identifikatsiya potentsiy-nikh nebezpek pri prognozuvanni avari i travm na virobnichikh protsesakh v APK. / Lekhman S.D. Naukoviy visnik NAU-115. – K.: –137-142.
14. Lekhman S.D. 2008: Prognozuvannya nebezpechnikh staniv yergativnikh sistem pri ikh funktsionuvanni na virobnitstvakh APK / Lekhman S.D. // Mekhanizatsiya ta yelektrifikatsiya silskogo gospodarstva. – Vip. 92. – K. –509-514.
15. Lekhman S.D. 2009: Doslidzhennya prichin utvorenniya potentsiy-nikh nebezpek pri roboti MTA. / Lekhman C.D. // Mekhanizatsiya ta yelek-trifikatsiya silskogo gospodarstva. – Vip. 93. Glevakha. – 457-463.
16. Lekhman S.D. 2009: Yekspertna otsinka mashinno-traktornogo agregatu za potentsiy-nimi nebezpekami ta rizikami. / Lekhman S., Voytenko O. – slukhach magistraturi NUBiP Ukraїni. // Naukovo-virobnichiy zhurnal „Tekhnika i tekhnologii”. № 5. Ukr. NDIPVP im. L. Pogorilogo. - 26-28.
17. Lekhman S.D. 2010: Pasportizatsiya potentsiy-nikh nebezpek pri roboti mashinno-traktornikh agregativ na virobnitstvakh APK. / S.D.Lekhman. Naukoviy visnik. NUBiP Ukraїni. № 144 ch.3. Seriya «Tekhnika ta yenergetika APK». - 376-383.
18. Lekhman S.D. 20126 Doslidzhennya zakonomir-nostey utvorenniya nebezpechnikh staniv yergativnikh sistem agrarnogo priznachennya. /Lekhman S.D., Panfilova M.V. // Zbirnik na-ukovikh prats Vinnitskogo natsionalnogo agrarnogo universitetu. Seriya: tekhnichni nauki. Vipusk 11 t. 1 (65). Vinnitsya: – 236-241.
19. Lekhman S.D. 2012: Prognozuvannya nebez-pechnikh situatsiy ta obruntuvannya zakhodiv shchodo zapobigannya ikh mozhlivim naslidkam na virobnitstvakh APK / Lekhman S.D., Panfilova M.V. // Zbirnik naukovikh prats UkrN-DIPV im.L.Pogorilogo.Vipusk 16(30). Kniga 2. Doslidnitske. – 105-111.
20. Pavlov V.V. 1975: Nachala teorii ergaticheskikh sistem / Pavlov V.V. – K.: Nauk. dumka, 1975. – 239.

**FEATURES INTERACTION VEHICLE
AS ERGATIC SYSTEMS
IN CASE ROAD TRANSPORT EVENTS**

Summary. The elements of techniques and some results of study of possible dangerous impacts from the potential hazards with functioning of vehicles like ergative systems, in terms of agricultural production are described.

Key words: ergative systems, logic models and formulae, true sayings, dangerous consequences.

КЛАССИФИКАЦИЯ И ОЦЕНКА ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ ЗЕРНА

Светлана Потапова

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15*

Svitlana Potapova

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str. 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. В статье рассмотрены основные типы измельчителей фуражного зерна, обоснован выбор рациональной конструкции измельчителя.

Ключевые слова: фуражное зерно, измельчители зерна, вальцевые дробилки, молотковые дробилки.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Зерновые корма используются для повышения уровня питательности и концентрации усваиваемых питательных веществ в рационах всех видов сельскохозяйственных животных и птицы. Эти корма являются основой рационов при кормлении свиней и птицы как составная часть комбикормов и обязательным компонентом кормовых смесей при кормлении КРС. В состав кормосмесей или комбинированных кормов зерно злаковых культур можно включать от 30-40% до 60-70% [1-5].

Процесс подготовки кормов к скармливанию может состоять из целого ряда операций (очистка, дозирования, смешивания, химическая, тепловая, биологическая и другие виды обработки кормов). При этом одной из обязательных технологических операций является измельчение кормового сырья. На той или иной стадии приготовления кормов измельчению подлежат все без исключения виды кормов и кормовых добавок, в том числе и зерно [5].

К решению вопроса о измельчении зерна и выборе измельчающей техники можно подходить с разных позиций. Во многих случаях за основу принимают показатели производительности и энергоемкости указанного технологического процесса, долговечность оборудования. Вместе с тем, вопросы обоснования целесообразности измельчения кормов, качественных показателей процесса и продуктов измельчения, требований

к машинам, а также критериев и методов оценки тех или иных машин должны рассматриваться и решаться, прежде всего, в зависимости от технологической и экономической эффективности использования кормов. Эти вопросы решены далеко не полностью.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Технологическое оборудование для подготовки кормов к скармливанию обычно классифицируют по назначению, организацией процесса и конструктивным признакам. Измельчители, используемые для переработки зерна, различают:

- по назначению (специальные, универсальные и комбинированные);
- по принципу организации рабочего процесса (порционные и поточные);
- по типу рабочих органов (жерновые, шаровые, молотковые, центробежные, струйные, вихревые, вальцовые, дисковые, конусные и др.)
- по способу подачи материала в дробильную камеру (самотеком или принудительно)
- по способу отвода продуктов измельчения (самотеком, с механическим или пневматическим транспортером).

Конструкция, материал и форма рабочих органов машины определяют принцип ее действия на перерабатываемые материалы [6].

В зависимости от особенностей взаимодействия между рабочими органами и перерабатываемым материалом выделяют следующие основные способы измельчения [7-10]:

- а) раздавливания или плющения (сжатия) частиц между двумя поверхностями;

б) перетирания (сжатия и смещения) - при воздействии на частицу двух поверхностей, одна из которых подвижная;

в) разбивание ударом;

г) резки - при воздействии на частицу режущих кромок рабочих органов.

Так, плющилки перерабатывают зерновые корма по способу раздавливания, жерновые мельницы - перетирания. Принцип работы молотковых дробилок базируется на взаимодействии разбивания, перетирания и в незначительной степени резки-рубки (скалывания), вальцевых дробилок - раздавливания с резкой; ножевых измельчителей - резки.

В практике кормоприготовления преобладают именно измельчители комбинированного действия, в которых один из основных способов может проявляться в большей мере, чем другие. При выборе принципа действия измельчителя следует учитывать физико-механические и технологические свойства перерабатываемого сырья, его способность обеспечивать высокое качество получаемого продукта при минимизации удельных энергоемкости и материалоемкости процесса.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

В данной работе поставлена задача обосновать выбор рациональной конструкции измельчителя зерновых кормов.

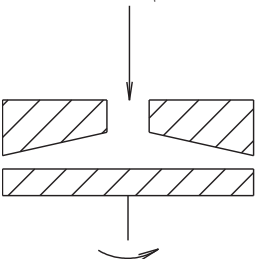
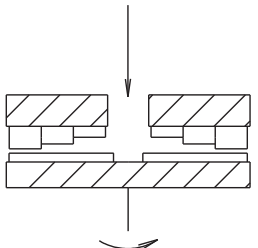
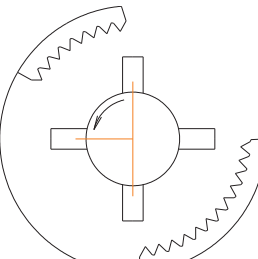
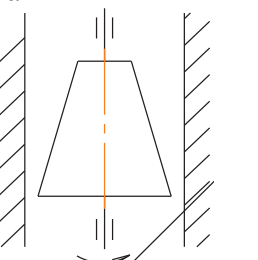
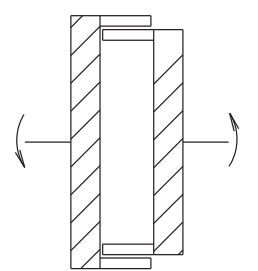
РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

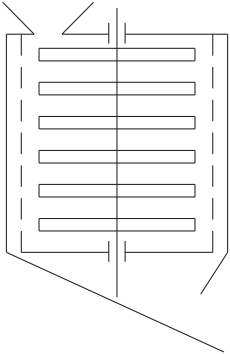
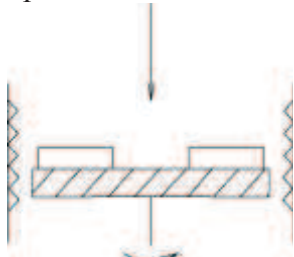
Независимо от принципа действия, степени измельчения, а также физико-механических свойств исходного сырья измельчители должны обеспечивать: равномерность фракционного состава продуктов измельчения, не снижая при этом их потребительских качеств, своевременное удаление продуктов измельчения из рабочей зоны машины, возможность регулирования степени измельчения; минимальные выходы целых зерен и образования пыли, рациональные затратные показатели (энерго-, металло- и трудоемкость); легкую замену быстроизнашивающихся рабочих органов; простоту конструкции и обслуживания; высокую износостойкость рабочих органов и надежность машины [11].

В табл. 1 приведена общая характеристика основных типов машин для измельчения зерна.

Таблица 1. – Основные типы и оценка измельчителей зерна
Table 1. – Main kinds of grain mills and their evaluation

Тип измельчителей	Способ измельчения	Позитивные признаки	Недостатки
1. Вальцевый станок 	Раздавливания, резки	Высокая равномерность продуктов измельчения с незначительным выходом пылевидной фракции	Сложность восстановления рабочих поверхностей
2. Вальцедековая дробилка 	Раздавливания, перетирания, резки	Высокая равномерность продуктов измельчения. Низкое пылеобразование. Простота и надежность в эксплуатации	Сложность восстановления рабочих поверхностей
3. Плющилка 	Раздавливания	Простота конструкции и обслуживания, надежность в эксплуатации	Не пригодна для переработки сухого зерна и в случае приготовления комбикормов

Тип измельчителей	Способ измельчения	Позитивные признаки	Недостатки
<p>4. Жерновая мельница</p> 	<p>Раздавливания, перетиранья</p>	<p>Высокая степень измельчения</p>	<p>Неравномерность granulometric composition of products; significant dust yield, high energy consumption, complexity of maintenance</p>
<p>5. Ножевая мельница</p> 	<p>Резка, перетирание</p>	<p>Низкая энергоёмкость, равномерное измельчение</p>	<p>Низкая надёжность и долговечность рабочих органов, сложность обслуживания.</p>
<p>6. Молотковая дробилка</p> 	<p>Разбивание, перетирание, резка</p>	<p>Простота конструкции и обслуживания</p>	<p>Неравномерный фракционный состав с большим выходом пылевидных частиц, повышенная энергоёмкость, высокая металлоёмкость</p>
<p>7. Конусная дробилка</p> 	<p>Перетирание, раздавливания</p>	<p>Простота конструкции, высокая степень измельчения</p>	<p>Высокая энергоёмкость; переизмельчение сырья с образованием пылевидных частиц</p>
<p>8. Дезинтегратор</p> 	<p>Разбивание, перетирание</p>	<p>Высокая степень измельчения</p>	<p>Сложность конструкции и обслуживания; неравномерный фракционный состав продуктов измельчения, высокая энергоёмкость</p>

Тип измельчителей	Способ измельчения	Позитивные признаки	Недостатки
9. Диссемебратор 	Разбивание, перетирание	Простота конструкции, высокая степень измельчения	Низкая эксплуатационная надежность неравномерное измельчение с образованием пылевидных частиц, высокая энергоемкость
10. Роторная дробилка 	Разбивание, перетирание	Простота конструкции и обслуживания	Неравномерное измельчение с образованием пылевидных частиц, высокая энергоемкость
11. Центробежная дробилка 	Разбивание	Простота конструкции и обслуживания	Сложность регулирования крупности измельчения; перерабатывает только хрупкие материалы

Для измельчения зерна в сельском хозяйстве наиболее широкое распространение получили молотковые дробилки. В основу работы этих машин положен принцип разбивания ударом и растирания, частично скалывания. Реализуется этот принцип измельчения с помощью шарнирно закрепленных на роторе быстровращающихся молотков. При встрече с перерабатываемым продуктом молотки наносят удары по его частицам, разбивают их, отбрасывают к стенкам кожуха, деки, решета и затыгивают в круговое движение по поверхности дробильной камеры. При этом происходит значительное растирание частиц вследствие трения о поверхности молотков, решета, деки и боковин дробильной камеры, а также трения частиц между собой, что приводит к перерасходу энергии. Пере-

измельчение зерна приводит к образованию пылевидной фракции, для отделения которой используют специальные пылеотделители, которые существенно усложняют конструкцию машин, увеличивают их габариты и делают их более металлоемкими. Кроме того, значительная часть энергии идет на измельчение, расходуется на нагрев измельчаемого материала [12].

Преимущества молотковых дробилок (такие как универсальность, возможность регулирования степени измельчения в относительно широких пределах, простота привода от быстроходных двигателей и др.) способствовали широкому распространению их в различных отраслях производства [13-17,11]. В сельском хозяйстве распространены как универсальные, так и специализированные

молотковые дробилки. Однако все вышеупомянутые варианты молотковых дробилок имеют существенные недостатки. Наиболее весомые из них - большая неравномерность фракционного состава продуктов измельчения, что в конечном итоге ведет к перерасходу зерна, а также завышенная энергоемкость процесса (12-20 кВт·ч на тонну). Исследования, проведенные С.В. Мельниковым и В.А. Елисеевым свидетельствуют, что содержание пылевидной фракции может составлять от 6 до 16% по весу (по другим данным до 30% [18]), причем на их образование расходуется от 60 до 70% всей энергии, используемой на измельчение [19]. В то же время при грубом измельчении конечный продукт может содержать до 20% не измельченных зерен. Наличие переизмельченной пылевидной фракции является нежелательным, поскольку она теряется при транспортно-погрузочных работах и при раздаче кормов за счет распыления, негативно влияет на дыхательные пути людей и животных, трудно смачивается водой и слюной животных и хуже усваивается их организмом [15]. Если в комбикормах для разных возрастных групп телят и поросят содержится более 25% переизмельченного мучнистого продукта, их эффективность при скармливании снижается [13]. Это приводит к повышению затрат корма в среднем на 10-15%. Число деформаций, необходимое для разрушения зерна в камере измельчения, составляет от 10 до 30 в зависимости от прочности материала и степени его измельчения. При этом измельчаемый материал должен осуществить 80-100-кратную циркуляцию по решетной поверхности камеры дробления, в результате чего непроизводительно расходуется значительная часть энергии измельчения [19].

Для измельчения зерна могут использоваться дезинтеграторы и дисмембраторы - измельчители ударного действия, на дисках роторов которых по концентрическим кругам размещены пальцы таким образом, что каждый ряд одного ротора входит между двумя рядами другого ротора или кольцевого диска. Степень измельчения регулируется скоростью вращения роторов. Дезинтеграторы и дисмембраторы применяют в комбикормовой промышленности для измельчения ингредиентов комбикормов, в мукомольной

промышленности при выработке из зерна обойной муки и при размалывании крупок, свободных от оболочек. Недостатками таких дробилок являются: относительная сложность строения и обслуживания, необходимость тщательной очистки сырья от твердых посторонних примесей, неравномерность фракционного состава переработанного продукта с повышенным пылеобразованием, сложность регулирования степени измельчения, высокая энергоемкость рабочего процесса [13].

Для жерновых мельниц характерен принцип растирания. Его можно применять только для измельчения сухих немаслянистых зерновых кормов. Рабочие органы жерновых мельниц - два плоских диска. Один из них может быть неподвижным, а другой приводится во вращение с круговой скоростью в пределах 10-12 м/с. Рабочие поверхности дисков могут иметь рифли (режущие и противорежущие ребра). Размещение дисков бывает как вертикальное так и горизонтальное. Между поверхностями жерновов есть рабочий зазор, в котором зерно подвергается сжатию, скалыванию и растиранию. За счет растирания можно получить различные степени измельчения зерна, однако этот способ имеет существенные недостатки: чрезмерное нагревание продукта, неравномерность измельчения с очень высоким выходом пылевидной фракции, высокая энергоемкость. Рабочие поверхности дисков сравнительно быстро изнашиваются. Жерновые мельницы имеют простую конструкцию, но громоздкие и малопродуктивные, поэтому для приготовления кормов в настоящее время используются редко.

Ножевые дробилки зерна для сельского хозяйства в нашей стране не выпускаются. Зарубежные фирмы выпускают ограниченное количество ножевых дробилок, в основном бытового назначения. Основным преимуществом таких измельчителей является низкая энергоемкость процесса измельчения и отсутствие пылевидной фракции. Однако они имеют существенные недостатки. В первую очередь это низкая надежность рабочих органов. Замена быстроизнашивающихся жестко закрепленных ножей представляет определенные неудобства при эксплуатации,

а также влияет на себестоимость измельчаемого кормов.

Вальцевые станки различаются по количеству пар валцов - с одной или двумя парами, много вальцовые (три и более валцов) встречаются также одновальцевые установки, в которых вместо второго вальца установлена дека. По назначению вальцевые станки бывают двух типов: плющилки и дробилки.

Принцип раздавливания или плющения зерна применяется в зерноплющилках, оборудованных двумя гладкими валцами, вращающимися с одинаковыми окружными скоростями. Зерно под действием сил трения затягивается валцами в зазор, сжимается и раздавливается, в результате чего получают продукт в виде хлопьев. Плющилки хорошо перерабатывают свежесобранное зерно повышенной влажности [20]. Сухое зерно перед плющением следует увлажнять, а еще лучше - подвергать влаготермической обработке. Недостатки плющилок: ограниченная область применения, плохо перерабатывают сухое зерно.

Во время работы вальцевых дробилок разрушение зерна происходит преимущественно в результате сдвига (резания) с элементами сжатия.

Поверхности валцов бывают гладкие, рифленые, ребристые и зубчатые (рифленые) (длинно- и короткозубчатые (длиннозубчатые при высоте зуба более 0,1 диаметра вальца, короткозубчатые - при высоте зуба менее 0,1 диаметра вальца)). Сочетание дробильных поверхностей может быть различным: например, оба вальца могут иметь гладкую поверхность или один гладкую, другой - рифленую [21].

Вальцы дробилок могут быть как с рифлеными (нарезными), так и с гладкими поверхностями, имеющими различные линейные скорости. Значительным преимуществом этих машин является высокая равномерность продуктов измельчения. Это имеет существенное значение, поскольку, например [19, 22] при кормлении свиней комбикормами с равномерным гранулометрическим составом затраты корма снижаются на 5...7%, что составляет в энергетическом пересчете экономию до 100...120 кВт·ч на тонну произведенных комбикормов. В связи с

отсутствием фактора перетирания в технологическом процессе выход пылевидной фракции сводится к минимуму. Вальцевые дробилки хорошо перерабатывают сухое зерно, которое не отличается высокими вязкопластическими свойствами. Эти машины удобны и надежны в эксплуатации. Рабочие органы достаточно долговечны - восстановление рифлей на валцах проводят один раз в 1,5-2 года.

Наиболее распространенным конструкторским решением является двухвальцевая дробилка. Ее рабочими органами являются два цилиндрических вальца, вращающихся с различными скоростями навстречу друг другу. Измельчение зерна или его частей происходит в клиновидном пространстве, образованном двумя цилиндрическими поверхностями. Разрушение зерна начинается несколько выше линии, соединяющей центры валцов. При этом медленно вращающийся валец как бы поддерживает зерно при действии на него поверхности быстро вращающегося вальца. Зерно в зоне измельчения подвергается одновременно деформации сжатия (вследствие постепенного уменьшения расстояния между поверхностями валков) и смещения за счет разности скоростей валцов. Корпуса подшипников вала одного из валцов опираются на пружины и могут перемещаться. В результате этого при попадании неизмельчаемого предмета один валец может отойти от другого и пропустить этот предмет, после чего под действием пружин вернется в исходное положение. Есть конструкции, в которых подпружинены оба вальца. Их используют там, где в материале много неизмельчаемых включений.

Вальцевые станки, используемые в мукомольной и крупяной промышленности представляют собой две пары валцов, расположенных одна над другой, то есть их можно рассматривать как две дробилки, смонтированные в одном корпусе.

Машиностроительная промышленность европейских стран, США и Канады выпускает большую номенклатуру вальцовых зернодробилок с четным количеством валцов в основном для мукомольной промышленности. Промышленно выпускаются вальцевые станки для шелушения проса и гречи, однако измельчители такой конструкции

практически не производятся, не смотря на то, что они имеют ряд преимуществ. Одно-вальцевые (вальцедековые) дробилки просты в конструкторском отношении и менее металлоемкие. Эти машины, как и многовальцевые измельчители, обеспечивают высокое качество измельчения при равномерном гранулометрическом составе продуктов измельчения и малом выходе пылевидной фракции, надежность работы и простоту эксплуатации.

В практике кормоприготовления преобладают дробилки с четным числом валцов, которые имеют производительность не менее 1,5-3 т/час. Между тем для небольших животноводческих предприятий рациональным типоразмером является измельчители зерновых кормов производительностью 350-400 кг/ час [23]. В этом случае проще с точки зрения конструкции и целесообразнее по эксплуатационным затратам будет вальцедековая (одновальцевая) дробилка.

По нашему мнению, среди рассмотренных конструкторских схем вальцовых дробилок для измельчения зерновых кормов, как на крупных животноводческих предприятиях, так и в небольших хозяйствах с целью получения продуктов измельчения высокого качества при небольших энергозатратах целесообразно использовать более дешевые вальцедековые дробилки.

В материалах научно-технической информации достаточно обоснованы основные параметры и условия обеспечения эффективной работы двухвальцевых станков. Одновальцевый вариант, который по сравнению с двухвальцевым имеет свои особенности, изучен недостаточно.

ВЫВОДЫ

Проведенный анализ показывает, что для переработки концентрированных кормов в последние десятилетия в сельскохозяйственном производстве и комбикормовой промышленности широкое применение получили молотковые дробилки. Однако, как было отмечено выше, они имеют существенные недостатки.

По нашему мнению, среди рассмотренных конструкций измельчителей зерна как для больших животноводческих предприя-

тий так и для малых ферм с целью получения продуктов измельчения высокого качества целесообразно использовать вальцедековые зернодробилки.

Учитывая существенные преимущества вальцевых дробилок зерна по сравнению с другими типами измельчителей, целесообразно исследовать их более детально.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bogdanov G.A. 1990: Kormleniye selskokhozyaystvennykh zhivotnykh / G.A. Bogdanov. – М.: Agropromizdat – 624.
2. Myand A.E. 1970: Kormoprigotovitelnyye mashiny i agregaty / A.E. Myand. – М.: Mashinostvroyeniye, – 256.
3. Normy i ratsiony kormleniya selskokhozyaystvennykh zhivotnykh 1985: Spravochnoye posobiye /Pod red. A.P.Kalashnikova i N.I.Kleymenova. - М.: Agropromizdat, - 352 s.
4. Sokolov A.Ya. 1975: Tekhnologicheskoye obo-rudovaniye predpriyatiy po khraneniyu i pere-rabotke zerna / A.Ya. Sokolov. –М.: Kolos, – 496.
5. Spravochnik po prigotovleniyu, khraneniyu i ispolzovaniyu kormov 1986:/ Pod red. P.S.Avrachenko. – Minsk: Uradzhay, – 351.
6. Kovbasa V., Solomka V., Solomka A. 2012: Analiz protsessa podachi zerna v rabochuyu kameru izmelchitelya // MOTROL T.14 S, – Lublin – 47-55
7. Revenko I.I. 1999: Proyektuvannya mekhanizovanikh tekhnologichnii protsesiv tvarinnitskikh pidpriemstv. / I.I.Revenko, G.M.Kukta, V.M.Manko ta in.; za red..I.I. Revenka. – К.: Urozhay. - 190.
8. Revenko I.I. 2009: Mashini ta obladnannya dlya tvarinnitstva: pidruchnik / I.I. Revenko, M.V. Braginets, V.I. Rebenko. – К.: Kondor, – 730 s.
9. Revenko I.I. 1994: Mekhanizatsiya virobnitstva produktsii tvarinnitstva / I.I.Revenko, G.M. Kukta, V.M. Manko ta in.; Za red. I.I. Revenko. – К.: Urozhay. – 264 s.
10. Revenko I.I. 2012: Mashini ta obladnannya dlya tvarinnitstva: Posibnik-praktikum/ I.I. Revenko M.V.Braginets, O.O.Zabolotko ta in.; Vidannya druge. - К.: Kondor vidavnitst-vo, - 562s.

11. Syrovatka V.I., Kartashov S.G. 1991: Proizvodstvo kombikormov v khozyaystvakh. - M.: Rosagropromizdat,. - 39.
12. Merko I.T. 1985: Tekhnologiya mukomolnogo i krupyanogo proizvodstva / I.T. Merko. – M.: Agropromizdat. – 288.
13. Glebov L.A. 1984: Povysheniye effektivnosti izmelcheniya komponentov kombikormov. Kombikormovaya promyshlennost. Obzornaya informatsiya. M. -12.
14. Kukta G.M. 1987: Mashiny i oborudovaniye dlya prigotovleniya kormov. - M.: Agropromizdat, - 303.
15. Kulakovskiy I.V., Kirpichnikov F.S., Reznik Ye.I. 1987: Mashiny i oborudovaniye dlya prigotovleniya kormov. Ch.1. Spravochnik. - M.: Rosselkhozizdat. - 285.
16. Melnikov S.V. 1978: Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya zhivotnovodcheskikh ferm. - L.: Kolos,. - 560.
17. Syrovatka V.I., Alyabyev Ye.V. 1970: Progressivnyye sposoby prigotovleniya i khraneniya kormov. - M.: Kolos,. - 224.
18. Baldanov, M.B. 2008: Obosnovaniye parametrov malogabaritnogo molotkovogo izmelchitelya furazhnogo zerna: avtoref. dis. na soiskaniye uchenoy stepeni kand. tekhn. nauk: spets. 05.20.01 – “Tekhnologii i sred-stva mekhanizatsii selskogo khozyaystva” / M.B. Baldanov. – Novosibirsk,. – 20 .
19. Sovremennyye sredstva razmola zerna 1982: – M.: Kolos,. – 132.
20. Yasenetskiy, V.A. 1990: Mashiny dlya izmelcheniya kormov. / V.A. Yasenetskiy, P.V. Goncharenko; Pod red. L.V. Pogorelogo. – K.: Tekhnika,. – 166.
21. Klushantsev, B.V. 1990: Drobilki. Konstruktsiya, raschet, osobennosti ekspluatatsii / B.V. Klushantsev, A.I. Kosarev, Yu.A. Muzemnek. – M.: Mashinostroyeniye, – 320 s.
22. Boltyanskaya N. 2012: Puti razvitiya otrasli svinovodstva i povysheniye konkurento-sposobnosti yeye produktsii / MOTROL, T.14 S, – Lublin - 164-175
23. Revenko I.I. 1999: Printsipi rozrobki ta vaboru kormoprigotuvvalnikh mashin dlya ma-likh ferm / Revenko I.I., Potapova S.Ye., Revenko Yu.I. // Tekhnika APK. – №3. – S. 26–27.

CLASSIFICATION AND EVALUATION OF GRAIN MILLS

Summary. The main kinds of feed mills were described in this article. Their advantages and disadvantages were evaluated and compared. Some ways to improvement these mills are proposed. The choice of the rational grain mill's design was grounded.

Key words: feedstuffs, feed grain, grain mills, roller mills, hammer mills.

КАЧЕСТВО ПРИГОТОВЛЕНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ И КОМБИНИРОВАННЫХ КОРМОВ

Иван Ревенко, Юлий Ревенко

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

Ivan Revenko, Yuliy Revenko

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str. 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Обоснованы способ и техническое решение, которые обеспечивают существенное повышение качества (равномерность фракционного состава) приготовления концентрированных и комбинированных кормов.

Ключевые слова: корма, качество приготовления, фракционный состав, равномерность, классификация, эффективность использования.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Исследованиями в области кормления доказано, что быстрого роста продуктивности сельскохозяйственных животных при рациональном расходовании кормовых ресурсов можно добиться только в случае создания оптимальных условий для течения обменных процессов в организмах животных и обеспечения их полноценным питанием. При этом основными факторами последнего являются [1]: полный набор незаменимых питательных веществ, своевременное и оптимально согласованное в количественном и качественном отношении поступление этих веществ в организм животного.

В этой связи весьма важно обеспечивать высокое качество подготовки кормов к скармливанию. Известно, в частности [2], что средние потери кормов и их питательной ценности, несовершенством способов хранения и подготовки кормового сырья к скармливанию и неудовлетворительное их качество, часто превышают 20-30 %. Потому усовершенствование процессов приготовления кормов с целью повышения их качества равноценно по технологической эффективности экономии кормового сырья или же увеличению кормовых ресурсов.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРЕДЫДУЩИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В отношении подготовки кормов к скармливанию практически возможны два похода [3, 4]. *Первый* – когда та или иная обработка обязательна для обеспечения самой возможности использования некоторых видов кормового сырья как корма, чем достигается расширение кормовых ресурсов. *Второй* – когда соответствующая подготовка целесообразна в технологическом та экономическом отношении, поскольку содействует более рациональному и эффективному использованию кормовых ресурсов и, таким образом, позволяет увеличить производство продукции животноводства.

Длительная практика и широкие научные исследования свидетельствуют, с наибольшей эффективностью кормовые ресурсы можно использовать только в переработанном виде в составе сбалансированных смесей. При этом переработка кормов в 3-4 раза дешевле стоимости дополнительно полученной за счет этого продукции животноводства [5, 6].

Если учесть перспективные масштабы развития отрасли и тот факт, что в современном производстве продукции животноводства доля затрат, повязанных с кормами, в общем балансе себестоимости этой продукции превышает 40-45 %, а на предприятиях промышленного типа достигает 70-80 % (например, птицеводство, свиноводство), то оба указанные подхода – расширение возможных кормовых ресурсов и повышение технологической эффективности их использования – есть весьма важными, а сами процессы обработки кормов при подготовке их к скармливанию приобретают проблемное значение.

Эффективность любого способа обработки кормового сырья определяется прежде всего количеством продукции, которую можно получить в результате скармливания единицы корма (окупаемость кормов) или же расходом кормов на единицу произведенной продукции. В случае положительного решения о целесообразности подготовки кормов к скармливанию возникает вопрос относительно обоснования качественных показателей процессов и продуктов кормоприготовления. Вопрос эффективности использования кормов можно рассмотреть на примере процесса их измельчения, которое является одним из обязательных и наиболее распространенных технологических приемов подготовки кормового сырья к скармливанию. В этом отношении накоплено достаточно данных научных исследований и производственного опыта, которые позволяют оценить эффективность кормоприготовления.

В каждом конкретном случае уровень технологической эффективности кормоприготовления за тем или иным критерием оценки (например, выход продукции, окупаемость кормов) в зависимости от вида и возраста животных, типа кормления и других возможных факторов, будет неодинаковым. Поэтому значительно удобнее пользоваться относительной оценкой влияния качества кормоприготовления на технологическую эффективность использования кормов.

На основании анализа, обобщения и математической обработки литературных данных [7-22] построены графики (рис. 1), которые отображают характер влияния размера частиц концентрированных и комбинированных кормов при откорме свиней на суточные привесы живой массы, расходование кормов на единицу привеса, а также продолжительность откорма. При этом за единицу принято соответствующие показатели при скармливании целого (не измельченного) ячменя.

Приведенные зависимости можно аппроксимировать уравнением [5, 6]:

$$\Phi = aM^e e^{cM}, \quad (1)$$

где: Φ – оцениваемый показатель (например, величина привеса живой массы, окупаемость кормов и др.), определяемый в абсолютных или относительных единицах; M – средний

размер кормовых частиц (модуль помола), мм; e – основа натурального логарифма; a , e , c – постоянные.

Наведенные зависимости имеют экстремальный характер и отражают наличие оптимального размера кормовых частиц. Таким образом, максимального технологического эффекта в виде дополнительного производства продукции животноводства можно достичь только в том случае, если будет обеспечен оптимальный размер кормовых частиц. Последний определяется научно обоснованными зоотехническими рекомендациями и зависит от биологического вида и возраста животных или птицы, а также от вида кормового сырья и способа использования кормов (раздельное скармливание или в составе смесей, рассыпных или в уплотненном виде).

Между тем практический подход к оценке измельченных кормов по средневзвешенной крупности частиц (модуль помола M) не дает достаточно полной информации относительно совершенства процесса и качества продуктов измельчения, в частности, не характеризует их гранулометрический состав и равномерность.

ЦЕЛЬ РОБОТЫ

Цель данной работы – обосновать эффективные направления использования концентрированных и комбинированных кормов путем повышения равномерности их гранулометрического состава при подготовке к скармливанию.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для анализа качества измельчения кормов, уровня соответствия их фракционного состава действующим зоотехническим рекомендациям рассмотрим размерные характеристики продуктов измельчения концентрированных и грубых кормов (рис. 2), полученных в результате их переработки современными машинами (на примере молотковых дробилок, которые чаще всего используют с этой целью в сельском хозяйстве и комбикормовой промышленности).

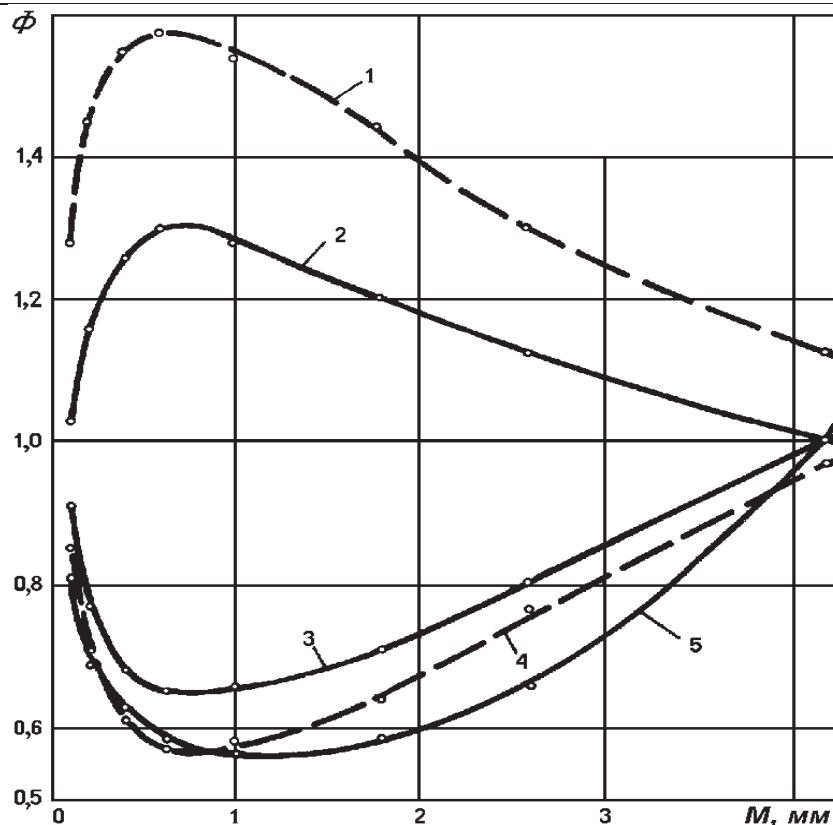


Рис. 1. Относительная эффективность использования кормов при откорме свиней в зависимости от размера частиц комбикормов (-----) и зерна ячменя (- - - -):
 1 и 2 – суточный привес живой массы; 3 и 4 расход кормов на единицу привеса; 5 – продолжительность откорма

Fig. 1. Relative efficiency of feed utilization in fattening pigs, depending on size of particle feed (-----) and barley (- - - -):
 1 and 2 - the daily live weight gain, 3 and 4 feed consumption per unit of weight gain, 5 - duration of fattening

Оценить качество исполнения машиной или оборудованием той или иной технологической операции – это значит определить степень соответствия действительных показателей нормативным [24] или научно обоснованным.

По значениям показателя M продукты измельчения, которые рассматриваются на рис. 2, соответствуют стандартным ступеням помола (мелкий, средний и грубый). Однако гранулометрический их состав весьма неравномерный: коэффициент вариации фракционного состава находится в пределах 60-90 %; выход фракции рационального размера не превышает 35-40 %, а в отдельных случаях снижается даже до 10-15 %.

Между тем известно [6], что любые отклонения размера кормовых частиц от среднего (подчеркнем - оптимального) значения сопровождаются технологическими потерями,

величина которых пропорциональна второй степени среднеквадратичного отклонения σ^2 этого параметра. Для приведенных выше зависимостей (1), размер технологических потерь будет составлять:

$$\Delta\Phi = \varepsilon M^g e^{cM} \left(1 + \frac{g}{M} - \frac{\mu}{M^2}\right) \sigma_M^2,$$

где: $\varepsilon = \frac{1}{2} ac^2$; $g = \frac{2v}{c}$; $\mu = \frac{v(v-1)}{c^2}$.

Результаты расчетов с учетом данных об эффективности использования кормов, приведенных на рис. 1, свидетельствуют, что в случае качественного измельчения кормов можно ожидать увеличения привесов массы свиней при откорме концентрированными та комбинированными кормами на 36-41 %, уменьшения расхода кормов на единицу продукции – 37-44 %, сокращения срока откорма – приблизительно на 45 %.

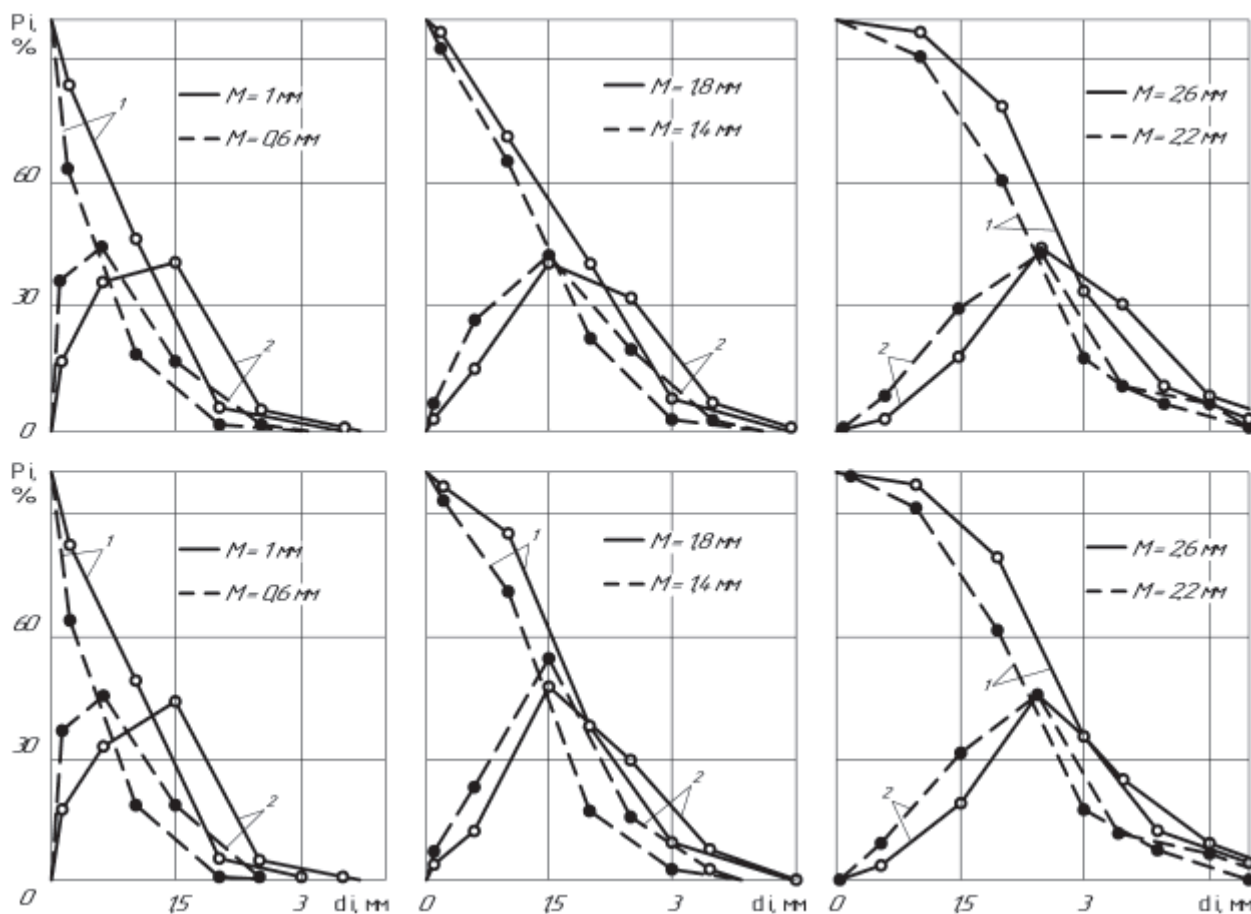


Рис. 2. Размерные характеристики продуктов измельчения зерна ячменя (- - -) и сена клевера (-----): 1 – суммарные; 2 – распределение частиц по фракциям
Fig. 2. Dimensional characteristics of barley grain milling products (- - -) and hay cell faith (-----): 1 - total, 2 - distribution of particle fractions

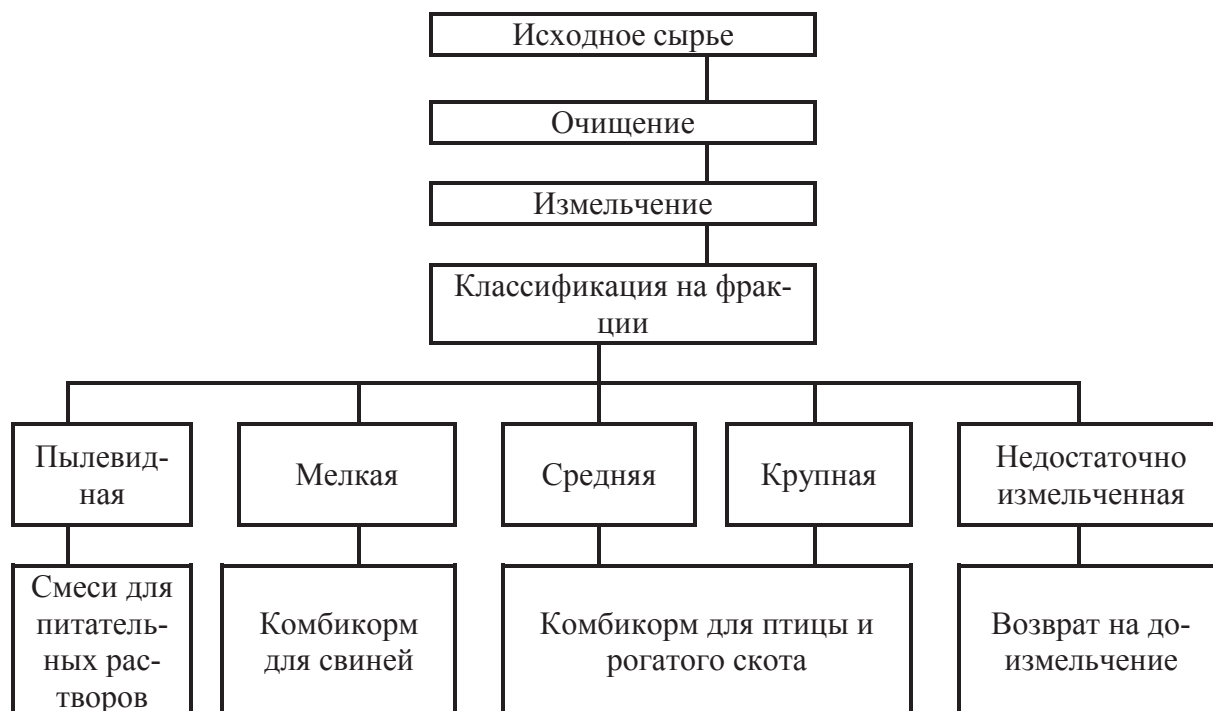


Рис. 3. Рациональная технологическая схема приготовления комбинированных кормов
Fig. 3. Rational flowsheet preparation of mixed feeds

КАЧЕСТВО ПРИГОТОВЛЕНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНЦЕНТРИРОВАННЫХ И КОМБИНИРОВАННЫХ КОРМОВ

В тому числе только за счет обеспечения равномерного фракционного состава продуктов измельчения при оптимальном размере кормовых частиц в пределах 0,5-1 мм можно повысить привесы и окупаемость кормов на 8-12 %, а срок откорма сократить на 6-9 % в сравнении с использованием кормов, переработанных современными молотковыми дробилками.

В связи с изложенными положениями возникает вопрос относительно практической реализации предпосылок о возможностях повышения эффективности использования кормов.

У комбикормовой промышленности и в сельскохозяйственных предприятиях приготовление комбикормов осуществляется по такой технологической схеме [25]: очищение исходных компонентов – их измельчение – дозирование – смешивание.

При измельчении ингредиентов комбикормов зоотехническими требованиями рекомендуется такой размер частиц продукта: для свиней – в пределах мелкого помела (средняя размер 0,2-1,0 мм), а для птицы и рогатого скота – среднего (1,0-1,8 мм) та крупного (1,8-2,6 мм). Коэффициент вариации их фракционного состава в соответствии с действующими требованиями не должен превышать 45-65 % [26]. В связи с отмеченными положениями следует, что известные способы приготовления и использования комбикормов не достаточно эффективны.

С целью повышения эффективности использования комбикормов путем обеспечения равномерного фракционного состава ингредиентов предлагаем [27] технологическую схему их приготовления (рис. 3). Исходные компоненты вначале очищают от посторонних включений и измельчают. Потом продукты измельчения классифицируют на фракции: до 0,2 мм – пылевидную, 0,2-1,0 мм – мелкую, 1,0-1,8 мм – среднюю, 1,8-2,6 мм – крупную и более 2,6 мм – недостаточно измельченную. Каждую из размерных фракций используют по специальному назначению: пылевидную – для получения смесей для приготовления питательных растворов молодняку животных; мелкую – на комбикорма для свиней; среднюю – на комбикорма для молодняка птицы и рогатого скота; крупную – для производства комбикормов взрослому поголовью птицы и рогатого ско-

та; а недостаточно измельченную – возвращают на повторное измельчение.

Предлагаемый способ приготовления комбикормов целесообразно использовать в специализированных цехах, а также на предприятиях комбикормовой промышленности с широкой номенклатурой производства комбикормов. При этом классификация продуктов измельчения за размером частиц ингредиентов позволит до возможного минимума (5-10 %) уменьшить коэффициент вариации (неравномерность) их фракционного состава и этим самым повысить качество и эффективность использования комбикормов. Поскольку снижение коэффициента вариации фракционного состава при измельчении ингредиентов комбикормов на каждые 10 % равноценно по технологической эффективности дополнительному производству или же экономии 1-3 % кормов [6], то общая технологическая эффективность при скармливании полученных таким образом комбикормов будет равноценна их экономии или дополнительному производству в размере не менее 4-6 % и может достигать 12-15 %.

В условиях рыночной экономики каждый производитель продукции стремится увеличить прибыль, наиболее экономно использовать все имеющиеся ресурсы и достичь наивысшей рентабельности [28]. Следует подчеркнуть, что методологически весьма важно различать экономию достигнутую в результате повышения технологической эффективности использования кормов, от обычной экономии при снижении, например, капиталовложений, затрат труда или энергии, расходования кормов. При промышленном подходе к производству продукции животноводства преобладает именно технологический эффект, поскольку он обеспечивает больший выход продукции при тех же запасах кормовых ресурсов и площадях земельных угодий, занятых под кормовые культуры.

ВЫВОДЫ

В процессе кормоприготовления одним из резервов повышения эффективности использования кормовых ресурсов есть выравнивание фракционного состава продукта при измельчении ингредиентов. Этого можно достичь, например, путем классификации продуктов измельчения кормового сырья и це-

ленаправленного использования каждой из размерных фракций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dmitrochenko A.P., Pshenichnyy P.D. 1975: Kormleniye selskokhozyaystvennykh zhivotnykh. – L.: Kolos. – 480.
2. Lesik B.V., Trisvyatskiy L.O., Snezhko V.A. 1980: Zberigannya i tekhnologiya silskogospodarskikh produktiv. – K.: Vishcha shkola. – 415.
3. Babich A.A., Motornyy D.K. 1986: Resurso- i energosberegayushchiye tekhnologii proizvodstva, khraneniya i ispolzovaniya kormov. Pod red. M.I.Zubtsa. – K.: Urozhay. – 104.
4. Svezhentsev A.I., Rensevich O.O. 1990: Ne-traditsiyini sposobi pidgotovki kormiv i ikh vi-koristannya. – K.: Urozhay. – 160.
5. Revenko I.I. 1976: Tekhnologichniy yefekt i obruntuvannya yakisnikh pokaznikiv podrib-nennya kormiv // Visnik s.-g. nauki. - № 12. – 76-80.
6. Revenko I.I. 1976: Otsinka yekonomichnoi yefektiv-nosti podribnennya kormovoi sirolvini // Visnik s.-g. nauki. - № 3. –100-103.
7. Godivlya sviney u gospodarstvakh promi-slovogo tipu 1979: Za red. I.S.Tranchuka. – K.: Urozhay. – 152.
8. Godivlya silskogospodarskikh tvarin 2001: / V.S.Bomko, S.P.Babenko, O.Yu.Moskalyuk ta in. – Vinnitsya: nova kn. -238.
9. Yevseyev N.K., Bondarev V.A. 1974: Ratsionalnyye sposoby podgotovki kormov k skarmliva-niyu. – M.: kolos. – 95.
10. Zhadan A.M. 1967: Granulovani kombi-kormi. – K.: Urozhay. – 56.
11. Zakharchenko I.M., Berzin Ya.M., Zakharchenko S.A. 1971: Effektivnost kombikormov raznoy dispersnosti v kormlenii sviney. – Tr. VNII kombikormovoy promti. – Vyp. 3. – 111-125.
12. Knyazev K.I. 1979: Intansivnyy myasnoy otkorm sviney. – M.: Kolos. – 222.
13. Kozlovskiy V.G. 1972: Tekhnologiya pro-myshlennogo svinovodstva. – M.: Rosselkhoz-izdat. – 256.
14. Kopil A.M. 1973: Pidgotovka, zberigannya ta vikoristannya kormiv. – K.: Urozhay. – 290.
15. Kotlyarenko M. 1977: Podribnennya kombikormu i produktivnist. – Tvarinnitstva Ukraini. - № 1. – 49.
26. Normi godivli, ratsioni i pozhivnist kormiv 2009: / G.V.Provatorov, V.I.Ladika, L.V.Bondarchuk ta in. – Sumi: Universitets-ka kn. – 492.
17. Tkachev I.F. 1962: Prigotovleniye i ratsionalnoye ispolzovaniye kormov. – Krasnodar. – 216.
18. Cole D/ et ol. 1970: Animal Production. - Vol. 12. - № 1. – 139-150.
19. Gardner B. 1969: A new future for drien grass // Farmers weekly. – Vol. 70. - № 12. – 68-71.
20. Hackl W., Fettback F., Wiss Z. 1969: – Mathematisch-naturwissenschaftliche Reihe/ Universitat Rostock. Bd. 18. - № 3-4. - 459-462.
21. Lawrence T. 1970: - Animal Production. - Vol. 12. - № 1. – 139-150.
22. 358. Reitmann E. et al. 1968: – J. of animal Sciece. – Vol. 24. - № 4. - 992-999.
23. Tardani A. et ol. 1969: – Rivista di Zoo-technica. – Roma. - № 5. 284-306.
24. Golub G., Marus O. 2011: Optimizatsiya para-metriv mashin ta obladnannya // MOTROL, 13B, 15-19.
25. Revenko I.I., Braginets M.V., Rebenko V.I. 2009: Mashini ta obladnannya dlya tvarin-nitstva. – K.: Kondor. – 731.
26. Ispytaniya selskokhozyaystvennoy tekhniki. Mashiny i oborudovaniye dlya prigo-tovleniya kormov. – OST 70.19.2-83. M.: Gos-komselkhoztekhnika SSSR, 1984.
27. Sposib prigotuvannya kombikormiv / Re-venko I.I., Revenko Yu.I. - Patent na korisnu model № 72675 (Ukraina). Opubl. 27.08.2012. Byul. № 16.
28. Marchenko V. 2003: Metodika визна-chennya pokaznikiv yekonomichnoi yefekti-vnosti vikori-stannya kompleksiv mashin ta mashinno-traktornogo parku // MOTROL. – T. 6. – 189-194.

QUALITY OF PREPARATION AND EFFICIENCY OF USING OF CONCENTRATED AND COMBINED FODDER

Summary. Grounded method and technical solutions that provide significant improvement of quality (uniformity of fractional composition) preparing concentrated and kombinorovan-tion of feed.

Key words: food, cooking quality, fractional composition, uniformity, the classification efficiency.

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ЭНТОМОЛОГИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА ТРИХОГРАММЫ

Геннадий Голуб, Олег Марус

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Обороны, 15*

Gennadiy Golub, Oleg Marus

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str. 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. В данной работе показан биотехнологический процесс производства энтомологического препарата трихограммы с результатами определения экономической эффективности его получения и окупаемости оборудования, которое при этом используется.

Ключевые слова: биотехнологический процесс, энтомологический препарат трихограммы, себестоимость, экономическая эффективность.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Биологическая защита растений в сельском хозяйстве переживает новый этап актуальности и необходимости особенно учитывая ухудшение экологической ситуации и уменьшение биологического разнообразия.

Противоречить актуальности и важности производства экологически безопасной продукции невозможно, поскольку продукция, произведенная по биологическим технологиям без использования химических препаратов пользуется спросом. К тому же постоянными заказчиками экологически безопасной продукции являются, в первую очередь, производители детского и диетического питания, а также заинтересованными в таком продукте должны быть в санаторно-курортных зонах.

Использование химических средств защиты растений обуславливает значительное сокращение потерь сельскохозяйственной продукции от вредителей, однако, при этом проявляются негативные явления и процессы: возникает устойчивость вредителей к химическим средствам, загрязнение окружающей среды и сельскохозяйственной про-

дукции, нарушаются процессы саморегуляции в агробиоценозах и т.д. [1].

К сожалению главная цель производителя сельскохозяйственной продукции - это получение наибольшей прибыли от реализации, а экологическая чистота продукции отходит на второй план. Отсутствие мотивации производства экологически безопасной продукции связана с дополнительными затратами на ее изготовление, а механизм, который бы регулировал эти недостатки отсутствует.

Принимая за главное - экономическую составляющую производства сельскохозяйственной продукции, проведение борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур целесообразно при условии, что затраты на борьбу с вредителями с избытком покрываются стоимостью сохраненного урожая [2].

Одним из наиболее эффективных и экологически безопасных направлений биологической защиты сельскохозяйственных культур от вредителей является использование энтомологических препаратов (энтомофагов), которые используются не только для того, чтобы проводить ликвидацию массовости вредителей, но и при этом предупредить их размножение [3, 4, 5].

Одним из массовых биологических средств защиты растений, которое использовалось в сельском хозяйстве являлась трихограмма, которая известна как паразит многих вредителей сельскохозяйственных растений [6, 7, 8]. Не одному энтомофагу ученые не уделили столько внимания как трихограмме, она изучалась во всех государствах бывшего Советского Союза.

Наибольшую известность трихограмма приобрела в 70-90-е годы прошлого века. В каждое хозяйство препарат поставлялся бесплатно, пока была государственная под-

держка. С развалом Союза рухнула вся система, биометод вышел на рыночные отношения, биолaborатории начали работать на самообеспечение, а хозяйства, привыкшие к бесплатной поставке препарата, в большинстве отказались, и laborатории, начали оставаться своей деятельностью. Эта ситуация в свою очередь позволила зарубежным фирмам в спешном порядке выйти на украинский рынок с химическими препаратами и заполнить его.

В данный момент на Украине осталось около 20 биолaborаторий, среди которых и учебно-научно-производственная лаборатория биологической защиты растений Национального университета биоресурсов и природопользования Украины, которая укомплектована современным оборудованием для производства энтомологического препарата трихограммы. Laborатория занимается не только разведением препарата, но и практическим его использованием в системе биозащиты в опытных хозяйствах университета.

Повышение требований к качеству и экологической чистоте продукции во многих случаях требует отказа от химических средств защиты растений и использования биологических. Понятно, что полностью отказаться от химических средств защиты растений сложно, но делать шаги по их сокращению необходимо.

Увеличение производства и использования энтомологического препарата трихограммы на посевах сельскохозяйственных культур является чрезвычайно важным, но вопрос эффективности ее производства и окупаемости оборудования, которое при этом используется остается открытым.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Процесс производства энтомологического препарата трихограммы состоит из двух этапов: первый этап – производство яиц живителя трихограммы (складского вредителя – зерновой моли), второй – производство самого препарата.

Биотехнологическое производство зерновой моли состоит из следующих операций (рис. 1): подготовка и заражение зерна, получение бабочек и яиц зерновой моли; очистка и

калибровка яиц, оценка качества и хранение яиц зерновой моли; утилизация отходов производства [9].

На данном этапе современного производства трихограммы для обеззараживания и увлажнения зерна используют кондиционер зерна. Обеззараженное зерно рассыпают по кюветам слоем не более 4 см и в течение 1-2 дней доводят до влажности 15-16 % [10]. Рассыпанное зерно по кюветам устанавливают на стеллажи, предназначенные для размещения кассет с зерном, проведения операции заражения зерна зерновой молью и ее развития от стадии яйца до стадии передимагового возраста. В помещении получения моли и ее яиц необходимо поддерживать соответствующие климатические условия: температуру на уровне 24 ± 1 °C и относительной влажности воздуха от 75 до 80 % [11, 12].

Для разведения зерновой моли используют высококачественный, очищенный сортовой ячмень, который включает в среднем 20-21 тыс. зерен в 1 кг [13]. После 4-5 суток от начала заражения зерно тщательно перемешивают, определяют его влажность и при необходимости доводят до заданной. Когда начинает вылетать зерновая моль, зерно загружают в бокс, который предназначен для сбора имаго зерновой моли. Зерновую моль собирают один раз в сутки. Для содержания и откладывания яиц зерновую моль размещают в специальные садки.

Для удаления примесей (пыли, лапок, крыльев и др.) из фракции яиц зерновой моли используют очиститель яиц. Для повышения качества производства маточной и промышленной культуры трихограммы в биотехнологический процесс был введен калибратор яиц зерновой моли [14].

Полученные яйца зерновой моли используют для дальнейшего производства моли и разведения трихограммы. В первом случае используют свежоткладенные яйца зерновой моли или яйца, которые хранились в пределах от 3 до 4 суток при температуре от 1 до 3 °C и относительной влажности воздуха от 85 до 90 %.

После очистки и калибровки яйца зерновой моли взвешивают и при необходимости определяют их количество – примерно в 1 г 50 тыс. яиц [15].

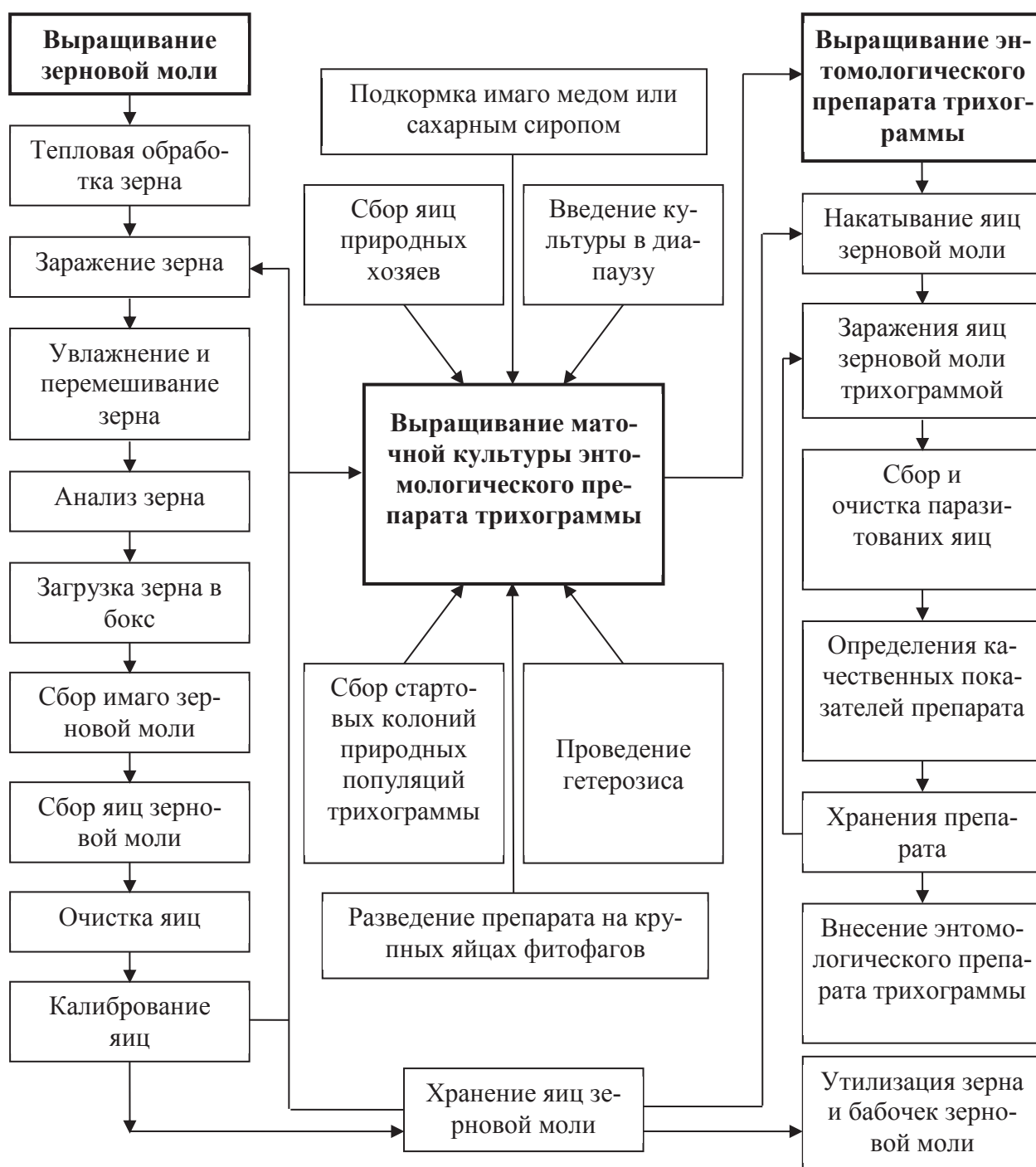


Рис. 1. Схема технологического процесса производства энтомологического препарата трихограммы

Fig. 1. Diagram of the process of production of the drug Entomological Trichogramma

Вторым этапом биотехнологического производства трихограммы является разведение самого препарата, который включает следующие операции: накатывание яиц зерновой моли; заражения их трихограммой, сбор и очистка паразитированных яиц, определение качественных показателей препарата и его хранение.

Для поддержания дееспособности и активности энтомологического препарата трихограммы рекомендуют использовать подкормку на основе меда или 20 %-ного сахарного сиропа. Подкормка значительно продлевает продолжительность жизни и обеспечивает реализацию потенциальной плодовитости [16, 17, 18, 19].

При разведении энтомологического препарата трихограммы обязательно необходимо учитывать, что комнаты по производству зерновой моли и энтомологического препарата трихограммы должны быть разделены между собой (рис. 2), чтобы предотвратить неконтролируемое заражение яиц зерновой моли, поскольку трихограмма постоянно ведет поиск яиц.

Результатом последних исследований по экономической эффективности, которая составила 1029 грн., относится определение окупаемости использования пневматического калибратора яиц зерновой моли в биотехнологическом процессе производства энтомологического препарата трихограммы, которая не превышает 3 лет [20].

ЦЕЛЬ РОБОТЫ

Целью работы является анализ эффективности производства энтомологического препарата трихограммы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Объемы производства энтомологического препарата трихограммы, учитывая рыночные отношения, зависят от заказов, но расчеты, приведенные далее, связаны с максимальной мощностью лаборатории. Фактически объемы производства препарата в производственных лабораториях зависят от количества линий и количества ситотрожных боксов, входящих в эти линии. В учебно-научно-производственной лаборатории биологической защиты растений НУБиП Украины находится одна линия, которая состоит из 5 боксов.

При наличии заказов на производство энтомологического препарата трихограммы рассчитывается годовая потребность в зерне выражением:

$$m_3 = \frac{m_m k}{(m_я^{\delta} - m_я^3)} m_3^{\delta},$$

где: m_3 – масса зерна, кг; m_m – масса трихограммы, которую необходимо произвести за год, кг; k – соотношение массы яиц зерновой моли и зараженных яиц моли трихограммой (в зависимости от качества трихограммы колеблется в пределах от 1,6 до 2), относительных ед.; $m_я^{\delta}$ – масса яиц зерновой моли с од-

ного бокса, кг; $m_я^3$ – масса яиц, необходимая для заражения зерна, кг; m_3^{δ} – масса зерна на один бокс, кг.

Для запуска производства энтомологического препарата трихограммы необходима стартовая колония. Исходной культурой для промышленного разведения энтомологического препарата трихограммы является собранный в природе биоматериал (не менее 1500 яиц насекомых, зараженных трихограммой). Себестоимость энтомологического препарата трихограммы рассчитывалась с учетом того, что для ежегодного начала массового производства препарата он не закупается, а берется из собственной колонии, которая была введена в диапаузу.

Расчет и структура себестоимости производства энтомологического препарата трихограммы показаны на рис. 3 и приведены в таблице. К основному сырью, которое используется при производстве энтомологического препарата трихограммы относятся: бумага, которую используют для производства пакетов для хранения яиц зерновой моли и трихограммы; моющие и дезинфицирующие средства, индивидуальные средства защиты; марганцовка, которая используется для обеззараживания зерна, 3 л банки, в которых разводится трихограмма.

К расходам на коммунальные услуги относятся использование электроэнергии и воды. Вода используется для пропарки и увлажнения зерна, а также мойки технологического оборудования. Расходы также включили в себя заработную плату, накладные расходы, общепроизводственные, а также расходы на техническое обслуживание и ремонт технологического оборудования и строительных конструкций.

Также следует отметить, что расчеты расходов для производства энтомологического препарата трихограммы проводили с условием конечной реализации (без проведения биологической защиты растений, который включает: оценку фитосанитарного состояния посевов для установления норм, сроков и кратности проведения защитных мероприятий; проведение феромониторинга вредителя для определения сроков появления имаго и его динамики; внесения препарата).

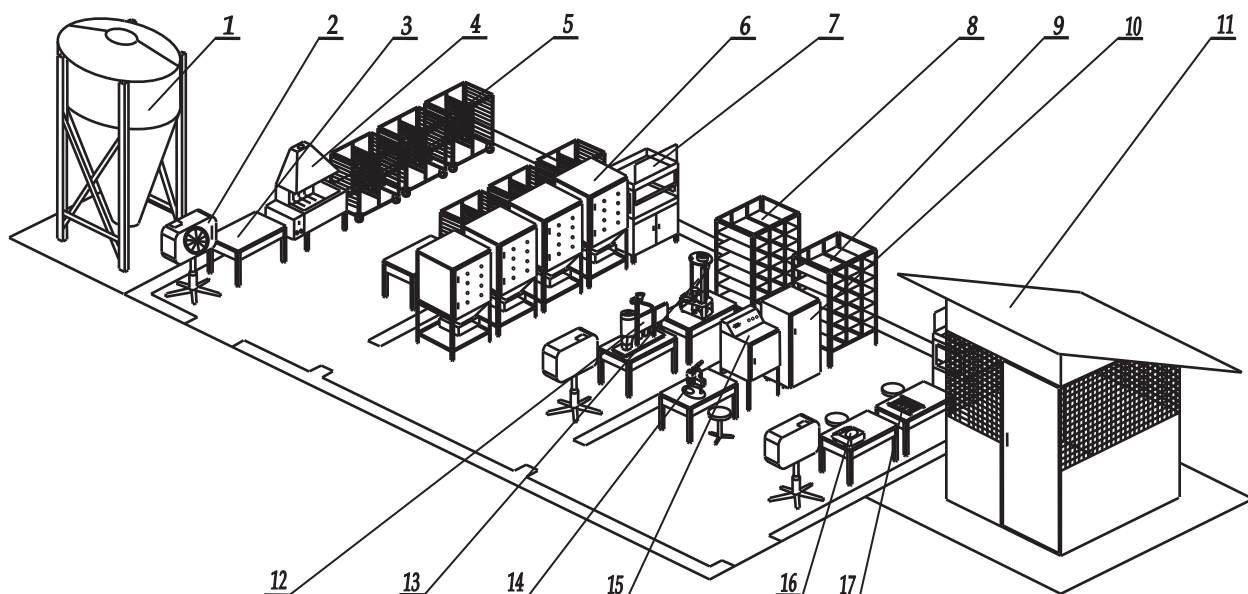
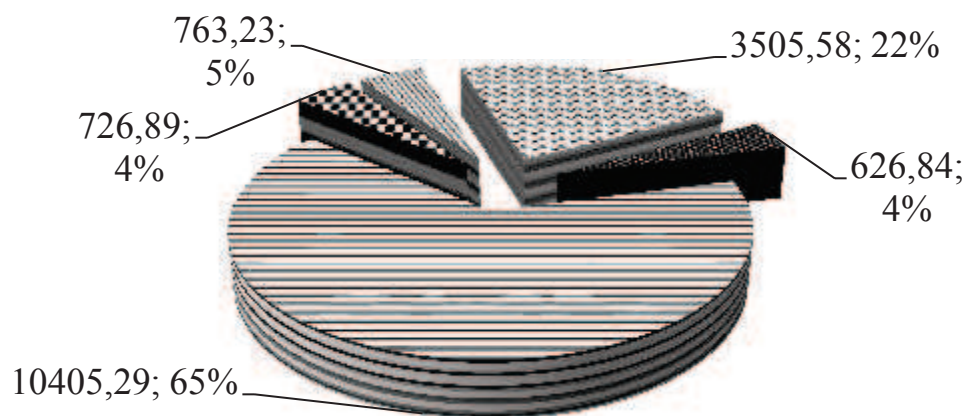


Рис. 2. Схема расположения технологического оборудования в лаборатории по производству трихограммы: 1 – бункер, 2 – увлажнитель воздуха, 3 – стол, 4 – кондиционер зерна, 5 – стеллаж зерновой, 6 – бокситотрожный, 7 – вытяжной шкаф, 8 – стеллаж для садков с зерновой молью, 9 – стеллаж для контейнеров с трихограммой; 10 – камера хранения трихограммы и яиц зерновой моли, 11 – инсектарий, 12 – калибратор яиц зерновой моли, 13 – очиститель яиц, 14 – бинокляр, 15 – термостат, 16 – весы, 17 – устройство для определения поисковой способности трихограммы.

Fig. 2. Map of process equipment in laboratory for production of Trichogramma



- ☞ Сырье и материалы
- ☞ Комунальные услуги
- ☞ Зарплата с начислениями
- ☞ Накладные расходы
- ☞ Общепроизводственные расходы

Рис. 3. Структура себестоимости производства энтомологического препарата трихограммы

Fig. 3. Structure of production cost of Entomological preparation of Trichogramma

Таблица. – Расчет себестоимости производства энтомологического препарата трихограммы
Table. – Calculate the cost of production of the drug Entomological Trichogramma

Показатель	Тариф		Затраты на производство			
	Ед. измерения	Значение	Ед. измерения	Значение	Стоимость, грн.	
Основное сырье и составляющие элементы						
Зерно ячменя	грн./т	1500,00	т	2	3000,00	
Бумага	грн./пач.	31,50	пач.	1	31,50	
Моющие и дезинфицирующие средства:	порошок стиральный	грн./пач.	7,00	пач.	5	35,00
	мыло хозяйственное	грн./шт.	1,98	шт.	10	19,80
	моющее	грн./шт.	6,66	шт.	8	53,28
	керосин	грн./бут.	20,00	пл.	1	20,00
Индивидуальные средства защиты:	перчатки	грн./шт.	12,00	шт.	10	120,00
	респираторы	грн./шт.	16,50	шт.	4	66,00
Марганцовка	грн./г	3,00	г	40	120,00	
Банки (3 л)	грн./шт.	8,00	шт.	5	40,00	
Всего, грн.					3505,58	
Оплата коммунальных услуг						
Электроэнергия	грн./кВт час.	0,62	кВт	622	385,64	
Вода	грн./м ³	6	м ³	40,20	241,20	
Всего, грн.					626,84	
Заработная плата						
Заработная плата за выполнение технологических операций	грн./чел.-час.	8,73	чел.-час.	870	7595,10	
Начисления на зарплату	%	37	грн.	7595,10	2810,19	
Всего расходов на оплату труда вместе с начислениями, грн.					10405,29	
Вместе прямых расходов, грн.					14537,71	
Накладные расходы ко всем расходам	%	5	грн.	14537,71	726,89	
Всего, грн.					15264,59	
Общепроизводственные расходы	%	5	грн.	15264,59	763,23	
Всего расходов, грн.					16027,82	
Себестоимость 1 г трихограммы, грн.					5,53	
Амортизация, техническое обслуживание, ремонт и расходы на хранение						
Машины и механизмы	%	10	грн.	200000	20000,00	
Строительные конструкции	%	4	грн.	100000	4000,00	
Всего, грн.					24000,00	
Средняя цена 1 г трихограммы, грн.					25,00	
Объем производства трихограммы	г	6266	грн.	25,00	156650,00	
Прибыль, грн.					15,64	
Прибыль после налогообложения, грн.					10,95	
Срок окупаемости, лет					4,4	

Объем производства энтомологического препарата за год указан без трихограммы, которая выделяется на диапаузу и составила 400 г. Стоимость энтомологического препарата трихограммы по Украине колеблется от 20 до 30 грн., поэтому при расчетах взята

средняя цена – 25 грн. Таким образом, себестоимость 1 г энтомологического препарата трихограммы составляет 5,53 грн.

ВЫВОД

Биотехнологический процесс производства энтомологического препарата трихограммы, который включает линию из пяти ситотрожных боксов, пропаривателя, стеллажей, очистителя и калибровщика яиц, увлажнителей воздуха обеспечивает возможность получения прибыли 10,95 грн. на 1 г производимого препарата, а срок окупаемости оборудования и помещений при этом составляет 4,4 года.

ЛИТЕРАТУРА

1. Pokazniki yakosti trikhogrami 2004: / [Shelestova V.S., Melnichuk S.D., Goncharenko O.I., Drozda V.F.] // Metodichni rekomendatsii do zastosuvannya trikhogrami proti shkidnikiv silskogospodarskikh kultur. – Kiiv. – 59.
2. Andriychuk V. G. 2002: Yekonomika agrarnikh pidpriemstv: Pidruchnik. – 2-ge vid., dop. i pereroblene. / V. G. Andriychuk. — K.: KNEU. – 624.
3. Kovalenkov V.G. 2008: Trikhogramma v integrirovannykh sistemakh zashchity sel'skokhozyaystvennykh kultur na Stavropol'ye / V.G. Kovalenkov, N.V. Tyurina, L.I. Pavlova // Biologicheskaya zashchita rasteniy – osnova stabilizatsii agroekosistem. – Krasnodar. – Vyp. № 5. – 246–250.
4. Kovalenkov V.G. 1993: Trikhogramma effektivna v integrirovannoy sisteme / V.G. Kovalenkov // Zashchita rasteniy. - M. № 10. – 16–19.
5. Shapiro I.D. 1988: Znacheniyе parazitov i khishchnikov / I.D. Shapiro // Ekologicheskkiye osnovy zashchity rasteniy ot vreditel'ey pri vozdeylyvanii sel'skokhozyaystvennykh kultur po intensivnym tekhnologiyam na primere zernovykh i zernobobovykh kultur. – L.: LSKhI. – 50–65.
6. Shumakov Ye.M. 1970: Nasekomye zashchishchayut rasteniya / Ye.M. Shumakov, V.A. Shchepetilnikova. – M.: Znaniye. – 46.
7. Shchepetilnikova V.A. 1974: Primeneniye trikhogrammy v SSSR / V.A. Shchepetilnikova // Biologicheskkiye sredstva zashchity rasteniy. M.: Kolos. – 138–158.
8. Meyer N.F. 1931: Biologicheskiy metod borby s vrednymi nasekomymi / Meyer N.F. – M.:

Gosudarstvennoye izdatel'stvo sel'skokhozyaystvennoy i kolkhozno-kooperativnoy literatury. – 120.

9. Metodicheskiye ukazaniya po promyshlennomu proizvodstvu trikhogrammy na biofabrikakh 1983: Vsesoyuznyy nauchno-issledovatel'skiy institut biologicheskikh metodov zashchity rasteniy: [utverdil professor N.M. Golyshin]. – Moskva. – 76.

10. Dyadechko M.P. 1990: Osnovi biologichnogo metodu zakhistu roslin / [Dyadechko M.P., Padiy M.M., Shelestova V.S., Degtyarov B.G.]. – K.: Urozhay. – 268.

11. Sorokina A.P. 2005: Vliyaniye abioticheskikh faktorov i vida khozyaina na dlitelnost preimaginal'nogo razvitiya vidov roda Trichogramma Westw. (Hymenoptera, Trichogrammatidae) / A.P. Sorokina // Biologicheskkiye sredstva zashchity rasteniy, tekhnologii ikh primeneniya i izgotovleniya. Sankt-Peterburg. – 148–155.

12. Shchepetilnikova V.A. 1937: Vliyaniye temperatury i vlazhnosti na razvitiye trikhogrammy / V.A. Shchepetilnikova // Biologicheskiy metod borby s vreditelyami sel'skokhozyaystvennykh kultur. – M.: Izdatel'stvo Vsesoyuznoy akademii s/kh nauk im. V.I. Lenina. – 12–16.

13. Telenga N.A. 1949: Rukovodstvo po razmnozheniyu i primeneniyu trikhogrammy dlya borby s vreditelyami sel'skokhozyaystvennykh kultur / N.A. Telenga, V.A. Shchepetilnikova. – K.: Izdatel'stvo Akademii nauk Ukrainskoy SSR. – 99.

14. Dubrovin V. 2012: Proizvodstvo entomologicheskogo preparata trikhogrammy / V. Dubrovin, G. Golub, O. Marus // Motrol. – Lublin. – Vol. 14, № 3. – 9 – 19.

15. Meyer N.F. 1941: Trikhogramma (Ekologiya i rezultaty primeneniya v borbe s vrednymi nasekomymi) / Meyer N.F. – M.: Gosudarstvennoye izdatel'stvo kolkhoznoy i sovkhoznoy literatury. – 175.

16. Grinberg Sh.M. 1986: Osnovnyye problemy pri promyshlennom proizvodstve trikhogrammy i puti ikh resheniya / Sh.M. Grinberg, A.F. Rusnak, G.F. Dyurich [i dr.] // Biologicheskaya regulyatsiya chislennosti vrednykh organizmov. – 197 213.

17. Zaslavskiy V.A. 1982: Eksperimentalnoye issledovaniye nekotorykh faktorov, vliyayushchikh na plodovitost Trichogramma yevanescens Westw. Hymenoptera, Trichogrammatidae / V.A. Zaslavskiy, Fu Kvi. May // Entomol. obozreniye. – Vyp. 4. – 724–737.

18. Zilberg L.P. 1980: Plodovitost trikhogrammy / L.P. Zilberg // Trikhogramma. – Ch. 1. – Kishinev. – 44–47.
19. Kostadinov D. 1980: Smena prirodnoho khozyaina i formirovaniye laboratornoy populyatsii Trichogramma embryophagum (Htg.) / D. Kostadinov // Primeneniye trikhogrammy v integrirovannykh sistemakh zashchity rasteniy. – Sofiya: Zemizdat. – 12–27.
20. Golub G.A. 2011: Yefektivnist vikoristannya vdoskonalenoho kalibratora yaets zernovoi moli / G.A. Golub, O.A. Marus // Naukoviy visnik Natsionalnoho universitetu bioresursiv i prirodokoristuvannya Ukraini. – Kiiv. – Vip. 166, ch. 1. – 35 – 43.

**TECHNICAL AND ECONOMIC
EFFICIENCY BIOTECHNOLOGIC
ENTOMOLOGICAL DRUG
PRODUCTION PROCESS TRICHOGRAM**

Summary. This paper shows biotechnological production process Entomological drug Trichogramma with results of economic efficiency of its receipt and return of equipment that it uses.

Key words: biotechnology process entomological drug Trichogramma, cost, cost-effectiveness.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОЗДУХА СЕМЯН ПРИ ЕГО ЛИНЕЙНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ

Александр Лавриненко

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Оборонь, 15*

Aleksandr Lavrinenko

*National University of Life and Enviromental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str. 15, Kiev, Ukraine*

Аннотация. Для определения статистических характеристик коэффициента сопротивления воздуха использованы графики теоретической зависимости пройденного пути от времени при различных коэффициентах сопротивления и экспериментальные значения времени падения семян из заданных высот. Исследования выполнены при условии линейной зависимости сопротивления воздуха от скорости движения.

Ключевые слова: коэффициент сопротивления воздуха, движение семян, сопротивление воздуха, сеялка, подлаповое пространство, графоаналитический метод.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

С распространенных способов посева зерновых и зернобобовых культур наиболее перспективным является подпочвенно-разбросной, при котором обеспечивается наиболее рациональная площадь питания растения, что способствует повышению урожайности [1]. Эффективность подпочвенно-разбросного способа посева зависит от степени равномерности распределения семян по площади поля [2, 3, 4, 5].

Почти все выполненные исследования по совершенствованию этого способа сева направлены на обоснование соответствующих поверхностей отражателей-распределителей семян для обеспечения большей дальности полета семян в подсошниковом пространстве. А условиям, при которых обеспечивалась бы равномерность распределения семян отводятся мало внимания.

Скорость семян во время поступления на отражатель-распределитель и после схода с него принималась определенной величины, а

возможные вариации не учитывались [6, 7]. Одной из причин вариации скоростей может быть разница сопротивлений воздуха отдельными семенами. Поэтому определение статистических характеристик коэффициента сопротивления воздуха является актуальным.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В большинстве случаев сопротивление воздуха при движении тела (семени) определяют квадратичной зависимостью от скорости [9, 12, 13]. Но в ряде литературных источников [8, 10, 15, 16] отмечено, что при небольших скоростях целесообразно принимать сопротивление воздуха линейно зависимым от скорости. В частности, в работе [8, 17-23] указывается, что сопротивление воздуха при движении семян целесообразно принимать пропорциональным, когда скорость находится в пределах 1,5-4 м/с.

Аналитические зависимости сопротивления воздуха при линейной зависимости его от скорости движения семян при выполнении подпочвенно-разбросного сева обоснованы в работах [14, 15] но значения коэффициента сопротивления воздуха в них не определялась. Значения коэффициента сопротивления воздуха K предложено определять по формуле $K = \frac{g}{V_{кр}^2}$, с⁻¹, где $V_{кр}$ -

критическая скорость (скорость парения), м/с; g - ускорение земного притяжения, м/с². Для семян каждой из культуры величина принимается постоянной и исследования по определению ее статистических характеристик не выполнялись.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Влияние сопротивления воздуха на параметры движения семян рассмотрим на примере свободного падения. Дифференциальное уравнение движения семени будет таким:

$$m\ddot{x} = P - R, \quad (1)$$

где: m - масса семени, кг;

P - сила тяжести семени, Н;

$$P = m \cdot g, \quad (2)$$

R - сопротивление воздуха, Н.

При линейной зависимости от скорости сопротивление воздуха будет определяться как:

$$R = m \cdot K \cdot V. \quad (3)$$

После подстановки в уравнение (1) выражений (2) и (3) и сокращения на массу семени m получим:

$$\ddot{x} = g - K \cdot V. \quad (4)$$

В результате решения дифференциального уравнения (4) скорость движения семени и пройденный путь определяются по формулам:

$$V = \frac{g}{K} (1 - e^{-Kt}) \quad (5)$$

$$x = \frac{gt}{K} - \frac{g}{K^2} (1 - e^{-Kt}) \quad (6)$$

Для экспериментального определения статистических характеристик сопротивления воздуха нами использован опосредствованный графоаналитический метод.

Суть его заключается в следующем:

- по теоретической зависимости (6) при условии $x = S$ (где S - пройденный путь семени, м) для ряда принятых значений строятся графики зависимости от времени (рис. 1);

- за графическими зависимостями S от t при заданных значениях высоты падения H (где $H = S$) строятся графики зависимостей K от t для ряда значений H ;

- экспериментально определяется время падения семян из заданных высот (на рис. 1 $H = 0,25; 0,50$ и $1,0$ м);

- по времени падения с известной высоты $H = S$ по графикам $K = f(t)$ для данной высоты определяют соответствующее значение K ;

- из ряда значений полученных величин K определяются статистические характеристики.

В существующих сеялках высота падения семян не превышает 1 м, поэтому величины H и S приняты в пределах 1 м. По данным предыдущих исследований при падении семян с высоты до 1 м не превышает 0,7 с а коэффициент сопротивления воздуха K не превышает 4.

Продемонстрируем методику построения графика на примере точки c (рис. 1), которая определяет время падения семян с высоты $H = 0,5$ м при $K = 1$. С точки a ($S = 0,5$ м) проводим горизонтальную линию до пересечения в точке b с кривой $K = 1$. С точки b проводим вертикальную линию до пересечения в точке c с горизонтальной линией, проведенной из точки d , соответствующей $K = 1$ на шкале K .

Точка c кривой $H = 0,5$ м соответствует времени падения семени с высоты 0,5 м при $K = 1$. Таким методом строятся другие точки графиков $K = f(t)$ для заданной величины H . Экспериментальные исследования по определению времени падения семян с заданной высоты определяли с помощью экспериментальной установки, схема которой представлена на рис. 2.

На штативе 1 смонтирован клапанный механизм, который состоит неподвижной 4 и подвижной 5 частей, причем последняя смонтирована на шарнире, подпружиненная и постоянно прижата к неподвижной части. Между поверхностями частей укладывается семя 2, время падения которого определяется в эксперименте. Под клапанным механизмом размещена площадка 9 на которую падает семя. Расстояние h между семенем в клапанном механизме и поверхностью площадки может варьироваться в пределах 0,25-1,0 м. Время падения фиксируется с помощью электрической схемы, которая включает контакты 3, источник тока 6, датчик вибрации 10 который закреплен на площадке 9. Контакты и датчик вибрации подключены к USB-осциллографу 7, который передает результирующие сигналы на ЭВМ 8.

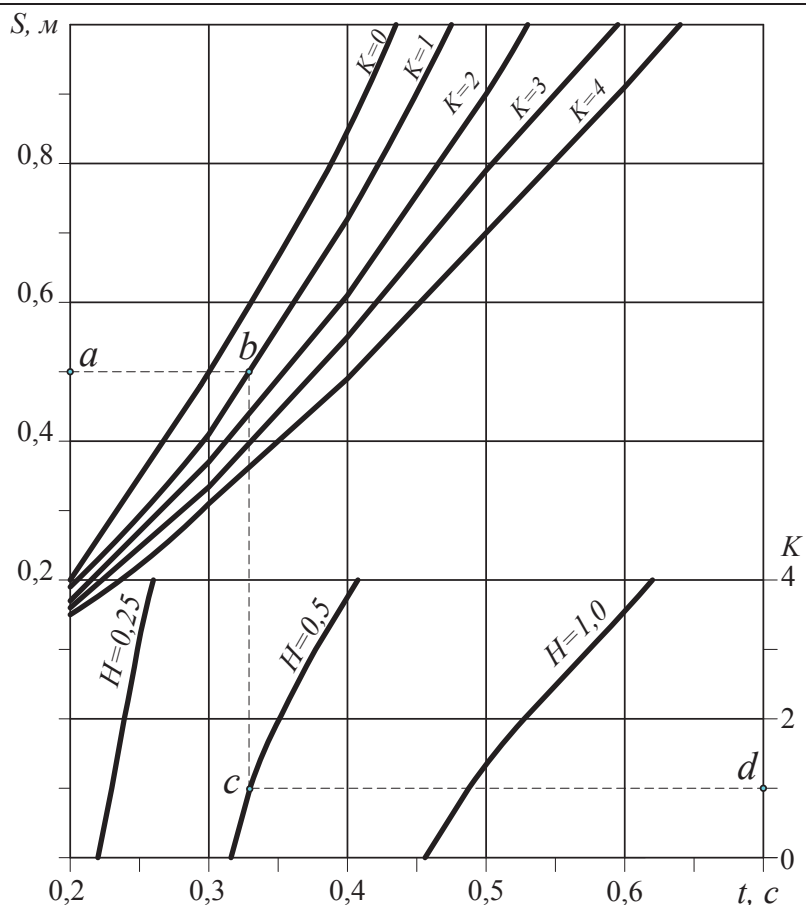


Рис. 1. Зависимость перемещения $S = H$ при различных величинах коэффициента сопротивления воздуха K и коэффициента K при различных значениях H от времени падения семени t .

Fig. 1. Relationship between moving at different values $S = H$ of the coefficient of air resistance K and coefficient K for different values H of the fall of the seed t .

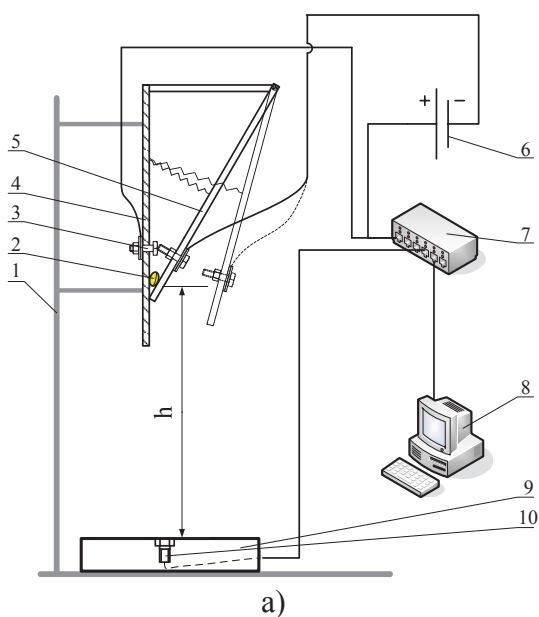


Рис. 2. Принципиальная схема (а) и общий вид (б) установки для определения коэффициента сопротивления воздуха при падении зерна.

Fig. 2. Schematic diagram (a) and general view (b) Installations for determination of coefficient of air resistance when falling grain.

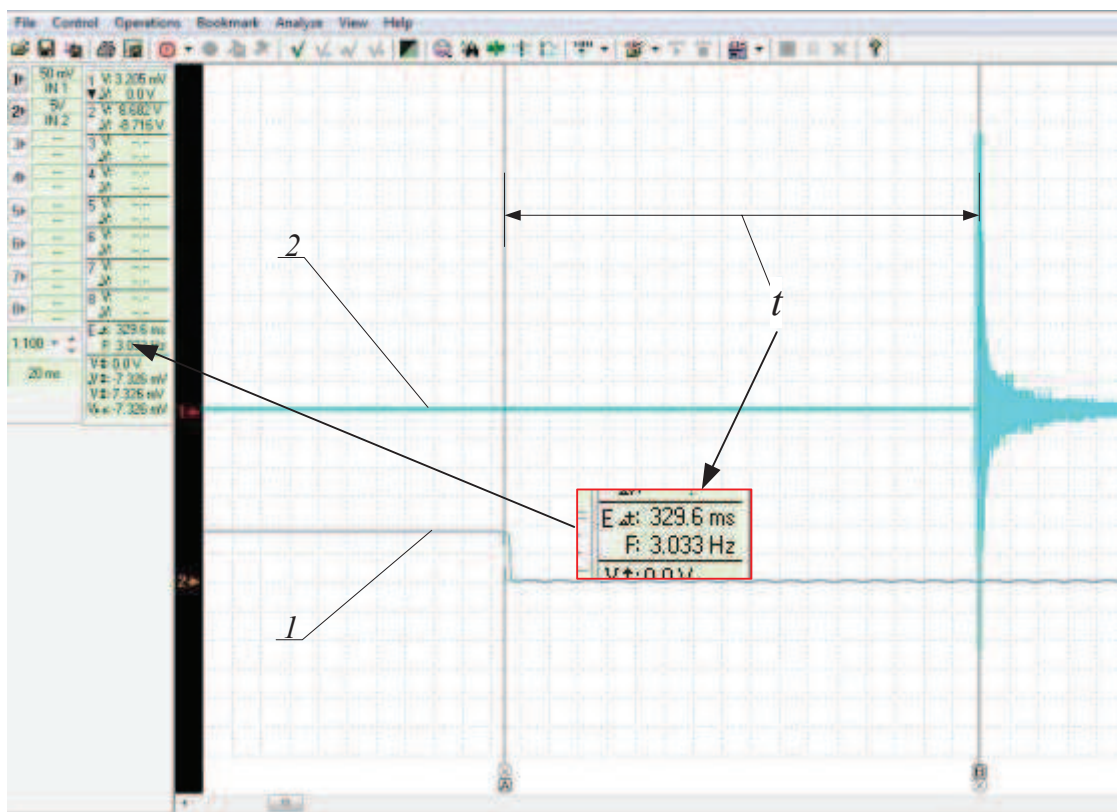


Рис. 3. Вид общий вид показаний осциллографа при замере времени падения семени с заданной высотой: 1- сигнал начала падения семени; 2 – сигнал конца падения семени на площадку; t - период падения (329,6 мс).

Fig. 3. Kind of a general view of the oscilloscope readings when measuring the fall of semen from a specified height: 1 - signal the beginning of the fall of the seed, 2 - signal the end of a seed falling on the ground, t - during the fall (329.6 ms).

Опыт проводился в следующей последовательности. В клапанный механизм закладывали семя и включали запись результата на осциллографе ЭВМ. Затем быстро отводили подвижную часть 5 в сторону, обуславливая начало падения семени. Этот момент фиксируется каналом 1 осциллографа, общий вид показаний которого представлен на рис. 3. Семя движется под действием силы тяжести и сопротивления воздуха. Момент падения фиксируется вибрационным датчиком, который тоже подает сигнал 2 на осциллограф. По периоду между подачей двух сигналов определяем время падения зерна t с фиксированной высоты.

По времени падения с помощью графика $K = f(t)$ определяем соответствующее значение K .

Опыты выполнены при высотах падения 0,25, 0,5 и 1,0 м. Полученные статистические характеристики коэффициента сопротивле-

ния воздуха для различных культур представлены в табл. 1.

Анализируя данные таблицы в целом для семян четырех зерновых культур (пшеница, ячмень, овес, горох) можно отметить:

- минимальные значения K находятся в пределах 0,22 (пшеница, $H = 0,25$, м) - 0,865 (овес, $H = 0,5$ м), а максимальные - в пределах 2,30 (ячмень, $H = 0,25$, м) - 3,75 (овес, $H = 0,5$, м). Средние значения находятся в пределах 0,50 (пшеница, $H = 1,0$ м) - 1,66 (овес, $H = 0,5$ м). Коэффициент вариации находится в пределах 17-69 %;

- общая четкая закономерность влияния высоты падения на величину не прослеживается, поэтому целесообразно пользоваться средними его значениями, которые получены для пшеницы, ячменя, овса и гороха, соответственно 1,09; 1,24; 1,49 и 1,03.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЭФФИЦИЕНТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОЗДУХА СЕМЯН ПРИ ЕГО ЛИНЕЙНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ

Таблица 1. – Статистические характеристики коэффициента сопротивления воздуха
Table 1. – Statistical characteristics of coefficient of drag

Культура	Высота падения H , м	Значение статистических характеристик				
		K_{\min} , с ⁻¹	K_{\max} , с ⁻¹	m_K , с ⁻¹	σ_K , с ⁻¹	ν_1 , %
Пшеница	0,25	0,22	3,59	1,15	0,755	65
	0,5	0,546	3,04	1,24	0,439	39
	1,0	0,155	3,21	0,899	0,157	32
Ячмень	0,25	0,790	2,30	1,45	0,396	27
	0,5	0,795	1,69	1,28	0,218	17
	1,0	0,460	1,95	0,979	0,384	39
Овес	0,5	0,865	3,745	1,66	0,568	34
	1,0	0,433	3,627	1,33	0,702	53
Горох	0,5	0,66	2,64	1,25	0,528	42
	1,0	0,425	1,44	0,802	0,553	69

Наиболее распространенное определение коэффициента сопротивления воздуха - за критической скоростью $V_{кр}$. По данным ряда публикаций [3, 5, 6] исследуемое нами семя имеет такие критические скорости: пшеница - 9,8-11,5 м/с; ячмень - 8,4-10,7 м/с; овес - 8,0 -9,16 м/с.

Связь между критической скоростью и коэффициентом сопротивления воздуха можно определить по формуле (5). Скорость достигает критического значения при условии $(1 - e^{-Kt}) = 1$. Тогда

$$K = \frac{g}{V_{кр}} \quad (7)$$

В результате расчетов по формуле (7) получены следующие величины коэффициента сопротивления воздуха для семян пшеницы, ячменя и овса, соответственно: 0,84-1,10; 0,92-1,17 и 1,08-1,23.

При сравнении значений K , которые получены экспериментально и по формуле (7), видно, что для пшеницы они совпадают, а для ячменя и овса экспериментальные несколько больше (на 5 и 17 % соответственно).

Учитывая значительные колебания коэффициента сопротивления воздуха (для пшеницы 31-65 %; ячменя - 17-35 %; овса - 34-53 % гороха - 42-68 %), точное его определение для каждого случая проблематично. В расчетах среднее значение коэффициента сопротивления воздуха для основных зерновых культур целесообразно принимать $K = 1$, а

возможные его изменения в пределах 0,5-1,5. Значительные отклонения K от среднего значения, характеризующихся коэффициентом вариации, следует учитывать при анализе рассеяния семян после схода с отражателя в подлаповом пространстве сошника-культиваторной лапы.

ВЫВОДЫ

1. Разработана и опробована методика определения статистических характеристик коэффициента сопротивления воздуха при свободном падении семян при линейной зависимости сопротивления от скорости.

2. Установлено что средние значения коэффициента сопротивления воздуха для пшеницы, ячменя и овса находятся в пределах 0,84-1,1; 0,92-1,17 и 1,08-1,23 соответственно, а коэффициент вариации - 45,3 %, 27,5 % и 43,5 % соответственно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Semenov A.N. 1959: Zernovyye seyalki / A.N. Semenov - M.: Mashgiz. – 315.
2. Grishchenko F.V. 1974: O rezultatakh proizvodstvennoy proverki bezryadkovoy (zernovoy) seyalki / F.V. Grishchenko, V.I. Shvedkov, V.S. Lomovitskiy – // Trudy Ryazan. s.-kh. in-t. – Ryazan. – t. 30. – 5-12.
3. Kaulinysh Ya.E. 1983: Issledovaniye tekhnologii poseva zernovykh i obosnovaniye ratsionalnogo tipa i parametrov soshnikov seyalki-kultivatora: Avtoref. diss. na soisk.

- nauchn. step. kand. tekhn. nauk: spets. 05. 20. 01/ Ya.E. Kaulinysh. - Yelgava. – 19.
4. Kurilovich K.K. 1973: Issledovaniye i sovershenstvovaniye tekhnologii i rabochikh organov seyalki dlya podpochvenno-razbrasnogo seva zernovykh kultur: Avtoref. diss. na soisk. nauchn. step. kand. tekhn. nauk: spets. 05. 02. 01 / K.K. Kurilovich. - Gorki., – 20.
5. Novakov S.O. 1998: Udoskonalennya tekhnologichnogo protsesu roboti soshnika z aktivnim rozpodilyuvachem dlya pidgruntovo-rozkidnogo posivu pshenitsi: Avtoref. diss. na soisk. nauchn. step. kand. tekhn. nauk: spets. 05. 02. 01 / S.O. Novakov. - Lugansk. – 20.
6. Oglyad i analiz konstruktsiy robochikh organiv zernovykh sivalok 2001: / A.V. Rud, S.M. Vinnichuk, I.O. Moshenko, Pavelchuk Yu.F. // Zb. nauk. pr. PDATA. – Vip. 9. - Kam'yanets-Podilskiy., – 235 - 237.
7. Samokish M.I. 2003: Perspektivni mozhливosti pidgruntovo-rozkidnogo sposobu sivbi zernovykh kultur / M.I. Samokish, A.V. Rud, S.M. Vinnichuk, I.O. Moshenko Mizhvid. temat. nauk. zb.// Mekhanizatsiya ta yelektifikatsiya silskogo gospodarstva: / NNTs IMESG – Glevakha., – Vip. 87. - 60-67.
8. Buzenkov G.M., Ma S.A. 1976: Mashiny dlya poseva selskokhozyaystvennykh kultur. - M.: Mashinostroyeniye. - 272.
9. Golub G. 2012: Modeyuvannya rukhu materialnikh chastinok z urakhuvannyam oporu povitryam / Golub G.A., Marus O.A. // Zbirnik naukovikh prats UkrNDIPVT im. L. Pogorilogo. – – vip. 16 (30), kn.1. – 137-145.
10. Zaika P.M. 1991: Metodicheskiye ukazaniya k izucheniyu raschetnogo kursa lektsiy «Selskokhozyaystvennyye i meliorativnyye mashiny». Izbrannyye zadachi zemledelcheskoy mekhaniki. Tema 8. Vyp. 1. Kharkovskaya gosudarstvennaya tipografiya №10. – 62.
11. Ivzhenko S.A., Brezhnev A.L., Peretyatko A.V. 2006: Opredeleniye trayektorii dvizheniya semeni s ispolzovaniyem lineynogo zakona soprotivleniya dvizheniyu// Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ch.1. – Saratov; FGOU VPO Saratovskiy GAU im. N.I. Vavilova. - 92-100.
12. Mekhaniko-tekhnologichni vlastivosti silskogospodarskikh materialiv 2003: /O.M. Tsarenko, D.G. Voytyuk, V.M. Shvayko ta in.: Za red.. S.S. Yatsuna.: K.: Meta. - 448.
13. Spravochnik konstruktora selskokhozyaystvennykh mashin 1962: Pod red. A.V. Krasnichenko. Tom 1. M.: Gosudarstvennoye nauchno-tekhnicheskoye izdatelstvo mashinostroitelnoy literatury. - 650.
14. Pavelchuk Yu. 2009: Obruntovannya shvidkosti podachi nasinnya na vidbivach soshnika // Visnik TDTU. – tom 14, -№2, - 79-83.
15. Teoriya, konstruktsiya i raschet selskokhozyaystvennykh mashin 1978: / Pod red. Ye.S. Bosogo / - M.: Mashinostroyeniye. - 567.
16. Chichkin V.P. 1984: Ovoshchnyye seyalki i kombinirovannyye agregaty. Teoriya, konstruktsiya, raschet. - Kishinev: Shtinitsa. - 392.
17. Kovbasa V. 2012: Analiz protsesa podachi zerna v rabochuyu kameru izmelchitelya / V. Kovbasa, V. Solomka, O. Solomka //MOTROL: International jornal onoreration of farmandagri-foodindustry machinery. Lublin: – Vol. 14, No. 3. – 47-55.
18. Loveykin V.S. 2012: Analiz nerivnomirnosti rukhu zernoochisnoi mashini z rekuperativnim privodom / V.S. Loveykin, V.P. Kulik // Tezi dopovidey VI mizhnarodnoi naukovoii konferentsii “Ekobiotekhnologii ta biopaliiva v APK – ENERGIA 2012”. – Kiev-Lyublin-Simferopol-Lviv. – 52–53.
19. Loveykin V.S. 2009: Vpliv radiusa krivoshpip na yenergetichni pokazniki roboti zernoochisnoi mashini / V.S. Loveykin, V.P. Kulik // Mizhvuzivskiy zbirnik “Naukovi notatki”. – Vip. 26. – 172–176.
20. Loveykin V.S. 2010: Vpliv dovzhini shatuna na yenergetichni pokazniki roboti zernoochisnoi mashini / V.S. Loveykin, V.P. Kulik // Naukoviy visnik NUBiP Ukraini. Seriya “Tekhnika i yenergetika v APK”. – K. – Vip. 144, Ch. 2. – 33–39.
21. Boltyanska N.I. 2011: Obruntovannya konstruktivno-tekhnologichnikh parametriv separuyuchikh poverkhon zhalyuziynikh reshet zernozbiralnikh kombayniv // Motrol. – Tom 13B, Lublin. – 11–116.
22. Loveykin V.S. 2012: Analiz ta optimizatsiya rezhimiv rukhu zernovoi chastinki vpodovzh vibruyuchogo pokhilogo resheta / V.S. Loveykin, Yu.V. Chovnyuk, V.P. Kulik //

Naukoviy visnik NUBiP Ukraini. Seriya «Tekhnika i yenergetika v APK». – Vip. 170, Ch. 1. – 277–286.

23. Loveykin V.S. 2012: Optimizatsiya rezhimov kolebaniy zernovykh smesey pri nalichii sukhogo treniya / V.S. Loveykin, V.P. Kulik // Motrol. Vol. 14, No 3, Lublin. – 104–109.

**STATISTICAL DATA AIR RESISTANCE
COEFFICIENT SEEDS IN ITS LINEAR
DEPENDENCE ON SPEED**

Summary. To determine the statistical characteristics of air resistance coefficient used graphics theoretical distance traveled depending on time for different coefficients of resistance and experimental values of fall of the seed of the specified heights. The studies were performed under the condition of linear dependence of resistance of air speed.

Key words: coefficient of air resistance, movement of seeds, resistance of air seeder, podlapovoe space, graphical-analytical method.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСА ВОССТАНОВЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Зиновий Ружило¹, Сергей Кюрчев², Леонид Роговский¹, Валентина Мельник¹

¹*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15*

²*Таврический государственный агротехнологический университет
Украина, г. Мелитополь, пр. Богдана Хмельницкого, 18*

Zynoviy Ruzhylo¹, Sergey Kyurchev², Leonid Rogovskiy¹, Valentyna Melnyk¹

¹*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str. 15, Kiev, Ukraine*

²*Tavrichesky Agrotechnological State University
Avenue Bohdan Khmelnytsky, 18, Melitopol, Ukraine*

Аннотация. Анализируются виды износа, возникающие при эксплуатации автотранспортных средств. Рассматривается зависимость степени износа от пробега автомобиля.

Ключевые слова: износ, пробег, зависимость.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Постоянное увеличение автомобильного парка Украины выдвигает повышение требований к уровню развития и организации ремонтно-сервисного обслуживания как к самостоятельной сфере деловой активности. Число автомобилей частного пользования настолько возросло, что существующая сеть автосервисных и авторемонтных предприятий работает с перегрузкой. При исследовании изнашивания машин в реальных условиях эксплуатации выделяются два главных направления: установление качественных и количественных закономерностей. В

результате качественного анализа изношенных поверхностей деталей определяются причины низкой сопротивляемости изнашиванию и намечаются пути повышения износостойкости.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для всесторонних исследований качественных закономерностей изнашивания на основании вероятностно-статистического метода подбираются те детали, интенсивность отказов которых была наибольшей. Так как детали отказывают по различным причинам, то в целях отбора деталей для исследований с наиболее типичными дефектами определяют вероятность повторения каждого дефекта. С учетом этих соображений систематизируют виды износа и поломок деталей по каждой машине, устанавливают вероятность повторения каждого вида дефекта [1-20].

Таблица 1. Классификация видов износа деталей машин и их повторяемость

Table 1. Classification of mechanical wear and repeatability

Вид износа и разрушения		Вероятность повторения, %
1	Смятие и абразивный износ зубьев и шлицев соединительных муфт	14,8
2	Усталостное разрушение поверхностного слоя и абразивный износ зубьев шестерен	15,8
3	Отколы и абразивный износ зубьев шестерен	20,1
4	Абразивный износ деталей	38,8
5	Контактное схватывание деталей	10,5
6	Коррозия некоторых деталей в сочетании с различными видами износа и разрушениями поверхностного слоя	3,5x10

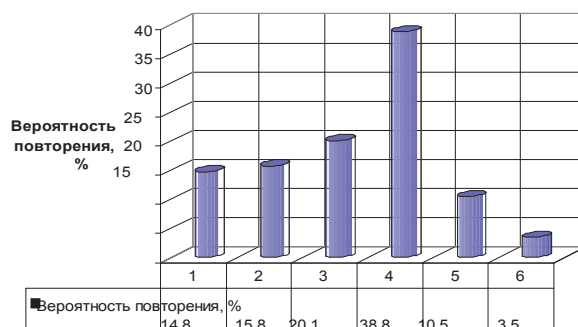


Рис. 1. – Диаграмма вероятности возникновения видов износа и разрушения деталей машин
Fig. 1. – Diagram of the probability of failure modes and failure of parts of machinery

Для обобщения видов износа деталей, которые возникают в эксплуатации машин, изготовленных на различных заводах, устанавливаются характерные дефекты, присущие машинам различного назначения. Очень часто на одной детали и даже на одной и той же поверхности трения наблюдается несколько видов износа и разрушения, приведенные в таблице 1. На рисунке 1 приведен график повторяемости видов износа.

Абразивный износ превалирует над всеми остальными: около 40% деталей имеют чисто абразивный износ и 50% абразивный износ в сочетании с другими видами износа и разрушений поверхностного слоя.

На рисунке 2 показан первичный вал коробки перемены передач с характерными износами исполнительных поверхностей.



Рис. 2. – Первичный вал коробки перемены передач автомобиля

Fig. 2. – Input shaft gearboxes car

Исследования показали, что значительное количество деталей автомобилей заменяется в эксплуатации по причине износа.

При обработке статистических данных по отказам деталей автомобилей установлено следующее их распределение: износ 53,4%; разрушение (трещины, поломка, обрыв части детали) 18,9%; деформация

(растяжение, скручивание, изгиб) 10,4%; другие виды дефектов 17,3%.

Анализируя дефекты деталей, возникающие при эксплуатации, следует иметь в виду, что каждая отдельная деталь подвержена различной нагрузке, виду деформаций и условиям смазки.

Разновидности износа и разрушений деталей и причины их возникновения в процессе эксплуатации можно систематизировать следующим образом:

1. Смятие поверхностного слоя возникает на поверхностях деталей, обладающих низким пределом текучести и недостаточным сопротивлением пластическим деформациям. Обычно этот дефект присущ деталям, имеющим низкую твердость.

2. Усталостное разрушение поверхностного слоя возникает на рабочих поверхностях деталей в условиях циклических контактных напряжений и характеризуется появлением микротрещин, расположенных под углом около 30° к рабочей поверхности, образованием трещин и выкрашиванием поверхностного слоя. Усталостное разрушение поверхностного слоя наблюдается часто у зубьев шестерен, на рабочих поверхностях обойм шариковых и роликовых подшипников и др.

3. Хрупкое разрушение поверхностного слоя имеет место у деталей, прошедших термическую или химико-термическую обработку. Обычно разрушение поверхностного слоя начинается с образования трещины и дальнейшего выкрашивания поверхностного слоя при отсутствии предварительной или сопровождающей пластической деформации.

4. Абразивный износ является основным видом износа и характеризуется систематическим съемом металла твердыми частицами в процессе взаимодействия двух трущихся

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСА ВОССТАНОВЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

поверхностей.

5. Контактное схватывание наблюдается в деталях, работающих без смазки при высоких удельных нагрузках, с низким пределом текучести тончайших поверхностных слоев.

6. Коррозионное разрушение поверхностного слоя возникает в результате химического воздействия окружающей среды.

7. Усталостное разрушение детали возникает при действии циклических напряжений и характеризуется двумя зонами:

– зона с мелкозернистым строением (постепенное усталостное разрушение);

– зона с крупнозернистым строением (мгновенное разрушение).

8. Хрупкое разрушение детали характеризуется отсутствием заметных следов предшествующей пластической деформации. Оно развивается при появлении трещины, обусловленной действием рабочих напряжений, превышающих предел прочности. Поверхность излома имеет кристаллическое строение. Хрупкое разрушение возникает у деталей, изготовленных из материалов с относительно малой пластичностью, подвергавшихся термической и химикотермической обработке.

9. Вязкое разрушение детали характеризуется предварительной пластической деформацией и волокнистым строением излома. Разрушение происходит при величине рабочих напряжений, превышающих предел прочности материала, и имеет место у деталей, изготовленных из пластичного материала, который не подвергался термической и химико-термической обработке.

В настоящее время измерителем процесса эксплуатации автомобиля служит пробег.

В других машинах таким измерителем является время работы агрегатов.

Однако эти измерители не учитывают условий работы машины.

В этом отношении более достоверными измерителями являются такие, которые отражают энергетические затраты, например, количество израсходованного топлива, выполненных работ и др.

Однако, с точки зрения оценки ресурса агрегатов, эти измерители недостаточно достоверны.

Наиболее целесообразным измерителем

процесса эксплуатации автомобиля, да и других машин, является выполненная работа [2].

Для грузового автомобиля выполненная работа A , с учетом тягового баланса является функцией многих переменных:

$$A = f(l, G, \gamma, \beta, \psi, V), \quad (1)$$

где l – пробег; G – масса автотранспортного средства; γ , β , ψ – коэффициенты использования соответственно грузоподъемности (с учетом прицепов), пробега и сопротивления движению; V – скорость.

Величина износа S деталей агрегатов также является функцией многих переменных:

$$S = f(l, G, \gamma, \beta, \psi, V, Ka, t, КП), \quad (2)$$

где Ka – запыленность воздуха; t – фактор теплового режима; $КП$ – фактор переменности режимов работы агрегатов.

Сравнив эти функции (1) и (2) видим, что износ является функцией работы и других факторов, то есть:

$$S = f(A, Ka, t, КП). \quad (3)$$

Для грузового автомобиля, у которого составляющая тягового баланса, связанная с сопротивлением воздуха незначительна, работа A на пробеге l составит:

$$A = (GH + q\gamma\beta)\psi gl, \quad (4)$$

где GH – масса не груженого автомобиля; q – грузоподъемность; g – ускорение силы тяжести.

В данном случае интенсивность изнашивания будет удельной (мкм/МН км), то есть величина износа, отнесенная к работе трения.

Здесь, как и при измерении интенсивности изнашивания в мкм/тыс. км, производится лишь оценка интенсивности изнашивания, которая является безразмерной величиной.

Удельная интенсивность изнашивания имеет фактическую размерность, обратную силе трения. Для наиболее распространенных динамически нагруженных сопряжений уравнения для интенсивности изнашивания α и износа S :

$$\alpha = \alpha_0 e^{bl}, \quad (5)$$

$$S = S_0 e^{bl}, \quad (6)$$

где: α_0 и S_0 – соответственно интенсив-

ность изнашивания и износ в конце приработки; b – изменение интенсивности изнашивания на единицу износа; l – пробег.

Как показано на рисунке 2, некоторые виды износа исполнительных поверхностей первичного вала являются восстанавливаемыми.

Одним из способов, наиболее перспективным по затратам и качеству является плазменная наплавка (рисунок 3 и 4).

Однако возникает вопрос о сроке службы восстановленной поверхности.

На основании выше приведенных зависимостей в таблице 2 приведен расчет износа восстановленной поверхности.



Рис. 3. – Схема плазменной наплавки
Fig. 3. – Diagram of the plasma deposition

На основании проведенных расчетов построим зависимость величины износа от пробега автомобиля, представленную на рисунке 5.

Сравним наработку на отказ нового и восстановленного первичного вала коробки перемены передач модели КамАЗ.

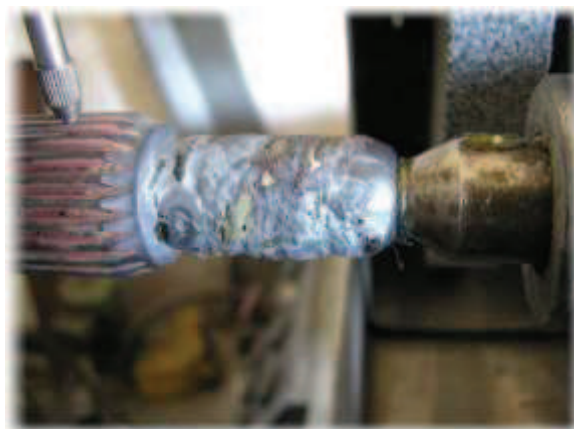


Рис. 4. – Наплавленная шейка подшипника первичного вала
Fig. 4. – Weld neck bearing of a primary shaft

Для каждого отдельного варианта рассмотрим одинаковое количество N_0 наблюдаемых деталей.

Зафиксируем наработки, при которых произойдут отказы деталей, и сведем полученные данные в таблицы.

Исходные данные по минимальной t_{\min} и максимальной t_{\max} наработкам используем для определения диапазона наработок, внутри которого имели место отказы [3].

Графическое представление определения среднего времени наработки на отказ приведено на рисунке 6.

Таблица 2. Расчет величины износа восстановленной поверхности первичного вала от пробега автомобиля

Table 2. Calculation of reduced amount of wear surface of primary shaft of car run

L, тыс.км	S_0 , мм	b, мм	S, мм
0	0,01	0	0,01
10	0,01	0,01	0,011
20	0,01	0,016	0,013
30	0,01	0,032	0,026
40	0,01	0,048	0,068
50	0,01	0,048	0,11
60	0,01	0,064	0,465
70	0,01	0,08	2,704

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕСУРСА ВОССТАНОВЛЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ
АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

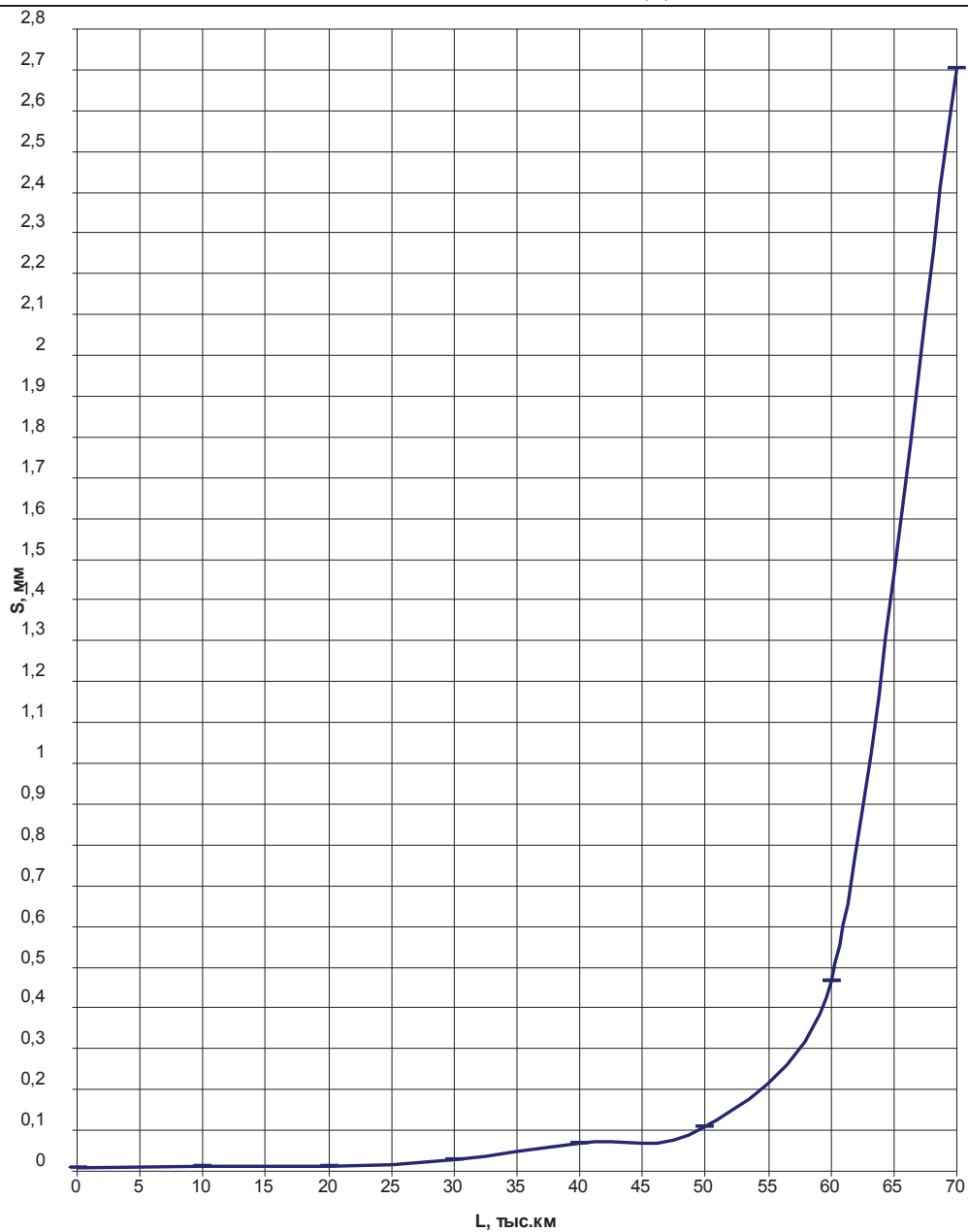


Рис. 5. – Зависимость величины износа от пробега автомобиля
Fig. 5. – Relationship between amount of wear on mileage of car

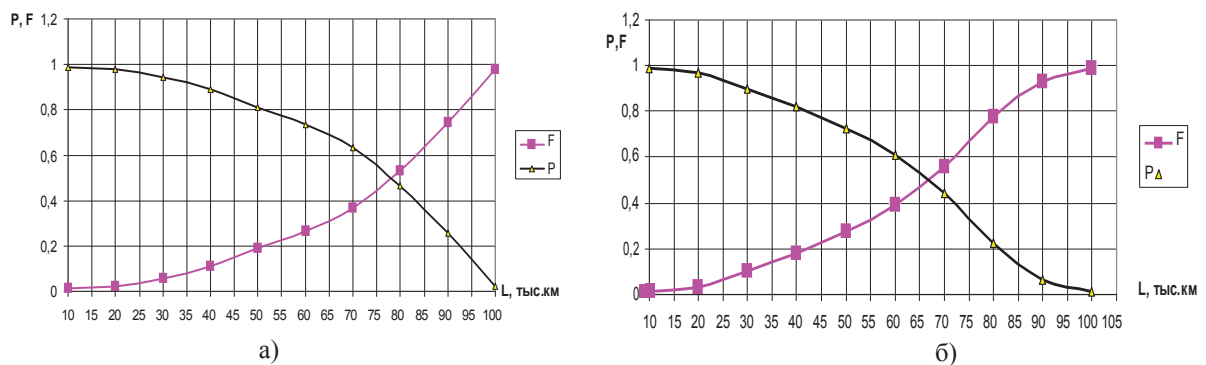


Рис. 6. – Определение среднего времени наработки на отказ: а – нового первичного вала коробки перемены передач; б – восстановленного первичного вала
Fig. 6. – Determination of mean time between failure

ВЫВОД

На основании проведенных исследований делаем вывод о том, что восстановленные детали автомобильных агрегатов в среднем на 11 тыс. км пробега меньше служат, чем новые. Но учитывая фактор износа самого агрегата, это делает целесообразным восстановление его деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Szeptycki A. 2003: Prognoza wyposazenia polskiego rolnictwa w ciągniki, kombajny i samochody / A. Szeptycki, Z. Wójcicki // Motrol. Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. – Т. 5. – Lublin. – 184 - 191.
2. Shkarivskiy G. 2007: Prospects of agregating self-propelled chassis // G. Shkarivskiy, S. Pogorilyy // Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Т. 9А. – Lublin. – 194 - 201.
3. Tipovaya 1976: Tipovaya metodika optimizatsii odnomernogo parametricheskogo (tiporazmernogo) ryada / Nauch. rukovodit. Tkachenko V.V. – М.: Izd-vo standartov, – 64.
4. Trepenenkov I.I. 1963: Ekspluatatsionnyye pokazateli sel'skokhozyaystvennykh traktorov / I.I. Trepenenkov. – М.: Metallurgizdat. – 271.
5. Fogel A.A. 1991: Tiporazmernyy ryad moshchnykh promyshlennykh traktorov / A.A. Fogel, V.S. Zakharov // Traktory i sel'skokhozyaystvennyy mashiny, № 3. – 9-11.
6. Ksenevich I.P. 1990: Ratsionalnyy tiporazmernyy ryad perspektivnykh sel'skokhozyaystvennykh traktorov / I.P. Ksenevich, M.I. Lyasko, V.N. Minizon, A.P. Parfenov // Traktory i sel'skokhozyaystvennyy mashiny, № 11. – 4-7.
7. Antyshev N.M. 1993: Prognoz potrebnosti i neobkhodimost struktury traktornogo parka / N.M. Antyshev // Traktory i sel'skokhozyaystvennyy mashiny, № 8. – 1-6.
8. Samsonov V.A. 1998: Obosnovaniye tiporazmernogo ryada traktorov s adaptiruyemyy parametrami / V.A. Samsonov, A.A. Zangiyev // Tekhnika v sel'skom khozyaystve. № 4. – 24-28.
9. Zangiyev A.A. 1999: Obosnovaniye parametrov Semeystvo mobilnykh energeticheskoy platezhi odnogo tyagovogo klassa / A.A. Zangiyev, N.I. Bychkov // Tekhnika v sel'skom khozyaystve. – № 3. – 3-5.
10. Rossiyskiy 2004: Rossiyskiy traktor: realnost i perspektivy. Po materialam press-sluzhby OAO «Agromashkholding» // Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny. № 5. – 2-9.
11. Butova P. 2001: Klassifikatsiya energosredstv po tekhniko-ekonomicheskogo parametrov / P. Butova, P. Nazarov, A. Zatsarinnyy // Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva. № 7. – 6-8.
12. Shkarivskiy G.V. 2005: Obruntovannyya rivniv potuzhnosti dviguniv mobilnykh yenergetichnykh zasobiv / G.V. Shkarivskiy, S.P. Pozhidaev // Naukovo-teoretichnyy zhurnal Ukrainskoi akademii agrarnykh nauk “Visnik agrarnoi nauki”. – №9. – 48-51.
13. Shkarivskiy G.V. 2006: Obruntovannyya rivniv potuzhnosti dviguniv mobilnykh yenergetichnykh zasobiv sil'skogospodarskogo priznachennyya isnuyuchykh tyagovykh klasiv / G.V. Shkarivskiy // Mizhvidomchy tematichnyy naukoviy zbirnik “Mekhanizatsiya ta yelektrifikatsiya sil'skogo gospodarstva”. Vipusk 90. – Glevakha, NNTs “IMESG”. – 98-107.
14. Shkarivskiy G.V. 2010: Obruntovannyya pereliku golovnykh parametriv tiporazmernogo ryadu mobilnykh yenergetichnykh zasobiv / G.V. Shkarivskiy // Visnik Kharkivskogo natsionalnogo tekhnichnogo universitetu sil'skogo gospodarstva im. Petra Vasilenka. – Kharkiv: FOP Chernyak V.E. – Vip. 93. – Т.1. – 302-309.
15. GOST: GOST 27021-86 (ST SEV628-85). Traktory sel'skokhozyaystvennyye i lesokhozyaystvennyye. Tyagovyye klassy.
16. Maslo I.P. 1991: Vdoskonalennyya yekspluatatsii mashinno-traktornogo parku / I.P. Maslo, M.I. Gritsishin, M.F. Tereshchuk ta in. – К.: Urozhay. – 176.
17. Fere N.E. 1971: Posobiye po ekspluatatsii mashinno-traktornogo parka / N.E. Fere i dr. – М.: Kolos. – 254.
18. Makovetskiy O.A. 1991: Mekhanizatsiya proizvodstva sakharnoy svekly / O.A. Makovetskiy, V.V. Brey, L.V. Pogorelyy, V.P. Leshinskiy: Pod red. L.V. Pogorelogo. – 2-e izd. pererab. i dop. – К.: Urozhay. – 184.
19. Beylis V.M. Yermolayeva N.A., Kulikova N.A. 1988: Normativnaya prodolzhitel'nost mekhanizirovannykh polevykh sel'skokhozyaystvennykh rabot / V.M. Beylis, N.A. Yermolayeva, N.A. Kulikova i dr. – М.: VIM. – 12.
20. Shkarivskiy G.V. 2004: Doslidzhennyya

vplivu zagalnoi konstruktsii MEZ na pokazniki universalnosti pri stvorenni mashinno-traktornikh agregativ / G.V. Shkarivskiy // Mizhvidomchiy tematichnyy naukoviy zbirnik "Mekhanizatsiya ta yelektrifikatsiya silskogo gospodarstva". Vipusk 88. – Glevakha, NNTs "IMESG". – 70-77.

21. Shkarivskiy G.V. 2004: Doslidzhennya pokaznikov universalnosti traktoriv, zaynyatikh u vikonanni osnovnikh tekhnologichnikh protsesiv / G.V. Shkarivskiy, S.P. Pogoriliy, A.S. Kokhno // Mizhvidomchiy tematichnyy naukoviy zbirnik "Mekhanizatsiya ta yelektrifikatsiya silskogo gospodarstva". Vipusk 88. – Glevakha, NNTs "IMESG". – 78-85.

22. Tekhnologichni 2004: Tekhnologichni karti ta vitrati na viroshchuvannya silskogospodarskikh kultur / za red. P.T. Sabluka, D.I. Mazorenka, G.E. Maznyeva. – Kharkiv: KhNTUSG. – 307.

DETERMINATION OF PARTS RECOVERY RESOURCES MOTOR VEHICLES

Summary. Analyzes the types of wear self-arising in operation of motor vehicles. We consider dependence of degree of wear on mileage of vehicle.

Key words: wear, mileage, dependence.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В КАБИНАХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

Светлана Тарасенко¹, Сергей Кюрчев²

¹*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
Украина, г. Киев, ул. Героев Оборона, 15*

²*Таврический государственный агротехнологический университет
Украина, г. Мелитополь, пр. Богдана Хмельницкого, 18*

Svyetlana Tarasenko¹, Sergey Kyurchev²

¹*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
Heroiv Oborony Str. 15, Kiev, Ukraine*

²*Tavrichesky Agrotechnological State University
Avenue Bohdan Khmelnytsky, 18, Melitopol, Ukraine*

Аннотация. Проведен анализ условий, влияющих на энергосбережение в кабинах сельскохозяйственных машин.

Ключевые слова: кабина, машина, энергия, конструкция.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Условия в кабинах самоходных сельскохозяйственных машин существенно влияют на самочувствие и работоспособность оператора. Особые требования предъявляются к тепловому режиму кабин, то есть значениям параметров микроклимата и их градиентов, величинам и направлениям кондуктивных, конвективных и радиационных тепловых потоков.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Вследствие незначительного термического сопротивления светопрозрачных ограждений кабин в зимний период имеют место небольшие потери теплоты из помещения в окружающую среду. В летнее время – наоборот перегрев создает дискомфорт для оператора. Кроме этого, на тепловой режим в кабине оказывает влияние находящийся в ней человек.

Большая часть теплоты выделяется телом человека путем излучения (42...44%), а конвекцией выделяется 32...35% [1]. При понижении температуры окружающей среды доля теплоотдачи излучением увеличивается.

Для снижения уровня теплообмена кабин с окружающей средой, и обеспечения ком-

фортных условий работы, могут быть использованы различные пути и средства. В этом отношении большой опыт имеется по эксплуатации кабин космических кораблей и самолетов. Хотя условия эксплуатации этих кабин иные, чем кабин наземных машин, принципы энергосбережения и обеспечения требуемого микроклимата могут представлять интерес и, до определенной степени, быть использованы.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью наших исследований является определение степени влияния технологических факторов на эффективность конструкции кабин сельскохозяйственных машин для использования в энергетических целях.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Если рассматривать экранно-вакуумную тепловую изоляцию как сплошную среду, то уравнение теплопроводности через слой можно записать следующим образом:

$$c\rho \frac{dt}{d\tau} = \frac{d}{dx} \left[\lambda(x,t) \frac{dt}{dx} \right]; \quad (1)$$

при граничных и начальных условиях

$$x=0, \quad -\lambda_{\text{эф}} \frac{dt}{dx} = q_{\text{внеш}} - \varepsilon\sigma T^4;$$

$$x=\delta, \quad -\lambda_{\text{эф}} \frac{dt}{dx} = k(t - t_k);$$

$$\tau=0, \quad t=t_0,$$

где: $\lambda_{\text{эф}}$ – эффективная теплопроводность слоя экранно-вакуумной изоляции;

$q_{\text{внеш}}$ – плотность внешних тепловых потоков;

k – коэффициент теплопередачи;

t_k – температура элемента кабины, защищаемого экранно-вакуумной тепловой изоляцией.

При этом $\lambda_{\text{эф}}$ равняется термическому сопротивлению теплоизоляции и может быть определен из уравнения:

$$\lambda = \delta [4\varepsilon_{\text{пр}}\sigma T_i^3 + k], \quad (2)$$

где: δ - толщина слоя;

$\varepsilon_{\text{пр}}$ - приведенная степень черноты между двумя слоями;

T_i - температура поверхности соответствующего слоя, К.

Заметим, что замкнутая воздушная прослойка между экраном и ограждением может до определенной степени служить аналогом экранно-вакуумной тепловой защиты.

Наиболее простым и распространенным средством теплозащиты и, следовательно, энергосбережения, получили распространение подсистемы на основе однородной теплоизоляции. Основными составляющими такой подсистемы являются один или несколько слоев теплоизоляции.

Вследствие этого более результативным является процесс отвода теплоты через образуемый вентилируемый воздушный канал.

Энергосберегающие теплозащитные средства широко используются в современных передовых транспортных средствах. Те или иные, более упрощенные теплозащитные

средства могут быть рекомендованы и для кабин наземных транспортных машин.

Исходя из анализа существующих технических решений для уменьшения теплообмена кабин с окружающей средой и создания более комфортных условий для оператора как зимой, так и летом целесообразно установить в кабине дополнительный теплозащитный прозрачный экран (рис. 1). Экран устанавливается за спиной оператора на определенном расстоянии от стекла. Подобная конструкция ограждения кабины должна содействовать улучшению теплового режима в кабине [2].

Для определения эффективности энергосберегающего экрана обратимся к решению задачи нестационарной теплопередачи через ограждения. С этой целью используем уравнения, приведенные в разделе 2.3 настоящей работы.

Расчеты выполнялись для четырех значений внешней температуры: $t_H = -26; -20; -15; -10^{\circ}\text{C}$. Температура в помещении кабины принималась равной $+18^{\circ}\text{C}$. Расстояние до энергосберегающего экрана от ограждения кабины в предварительном опыте принято 40 мм. Толщина экрана составляла $\delta_3 = 1$ мм.

В таблице 5.1 приведены данные, полученные на основе расчетов для удельных тепловых потоков q_1 и q_2 и температур t_1, t_2, t_3, t_4 и t_5 в характерных сечениях ограждающей конструкции (рис. 1).

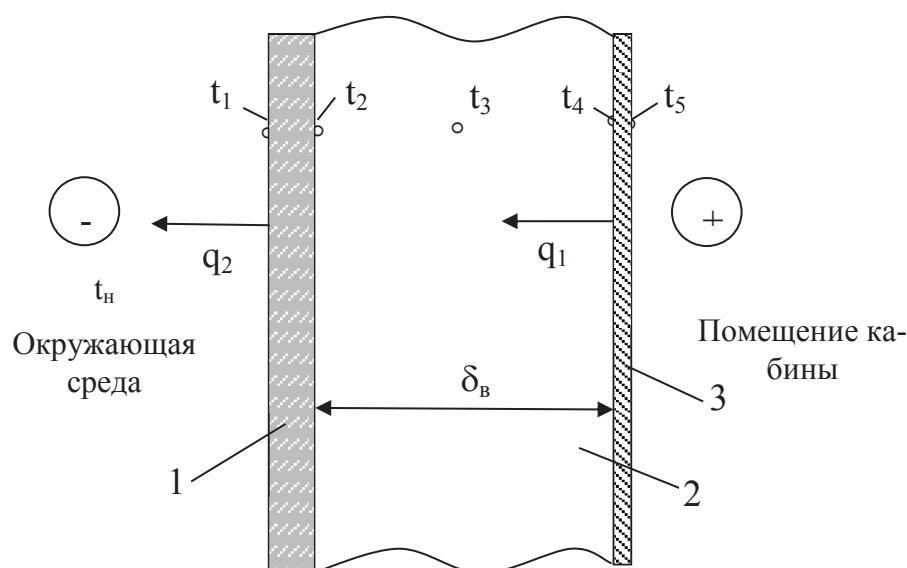


Рис. 1. – Схема ограждающей конструкции кабины с энергосберегающим экраном: 1 - светопрозрачное ограждение; 2 - воздушная прослойка; 3 - экран.

Fig. 1. – Scheme cladding cabin with energy-saving screen.

Закономерности изменений температуры в процессе теплопередачи через ограждения с экраном при разных значениях наружной температуры t_H даны на рис. 2. Из приведенных графиков видно, что экран оказывает существенное влияние на тепловой режим в кабине.

При температуре внешнего воздуха $t_H = -26^{\circ}\text{C}$, температура внутренней поверхности светопрозрачного ограждения из стекла составляет $t_2 = -21^{\circ}\text{C}$, а на внутренней поверхности прозрачного экрана она равна $t_5 \approx +16^{\circ}\text{C}$. Если бы экран отсутствовал, то большая разница температур между оператором и ограждением вызвала бы существенную теплоотдачу тела, что привело бы к ощущениям дискомфорта и, не исключено, к простудным заболеваниям.

При наличии экрана разница температур между телом оператора и ограждением незначительна (не превышает $2...3^{\circ}$). Кроме того, следует подчеркнуть, что температура t_5 на внутренней поверхности экрана, обращенной к телу оператора, мало зависит от температуры внешнего воздуха t_H .

При изменении наружной температуры t_H с -26°C до -10°C температура на внутренней поверхности исходного светопрозрачного ограждения изменяется от $t_2 = -21,04^{\circ}\text{C}$ до $t_2 = -6,14^{\circ}\text{C}$, в то время как на внутренней поверхности экрана всего на 1°C , а именно с $t_5 = +15,67^{\circ}\text{C}$ до $t_5 = +16,66^{\circ}\text{C}$. Об эффективности использования энергосберегающего экрана свидетельствуют зависимости температур в контрольных точках на поверхностях ограждающего стекла и предлагаемого экрана от температуры окружающей среды (рис. 3).

Так, во всем диапазоне изменения температур внешней среды, температура как на внутренней, так и на внешней поверхностях экрана практически не меняется. В воздушном пространстве между стеклом, ограждающим кабину, и экраном наблюдаются изменения температуры (кривая t_3), перепад которой достигает около 6°C . Еще больший перепад возникает на поверхности стеклянного ограждения. То есть теплопроводящие вещества ограждения больше зависимы от температуры внешней среды.

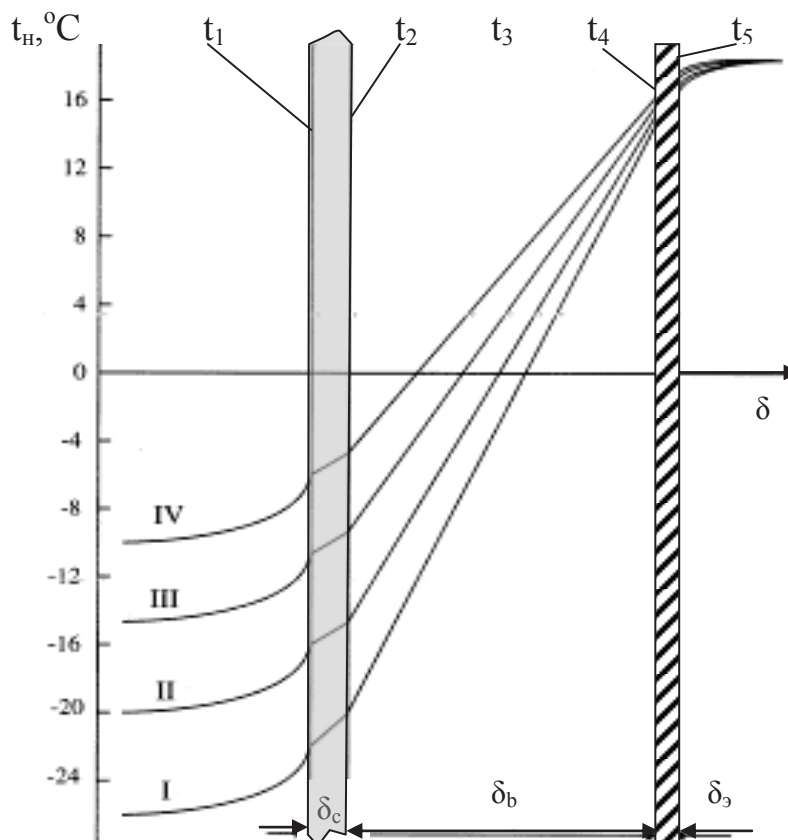


Рис. 2. – Изменения температуры в ограждающей конструкции кабины при наличии энергосберегающего экрана: I - $t_H = -26^{\circ}\text{C}$; II - $t_H = -20^{\circ}\text{C}$; III - $t_H = -15^{\circ}\text{C}$; IV - $t_H = -10^{\circ}\text{C}$

Fig. 2. – Changes in temperature in building envelope cabin in presence of energy-efficient screen

Таблица 1. Значения удельных тепловых потоков и температур в характерных точках ограждающей конструкции кабины с энергосберегающим экраном

Table 1. Values of specific heat flux and temperature characteristic points cladding cabin with energy-saving screen

Рассчитываемый параметр	Температура внешней среды t_H , °C			
	-26	-20	-15	-10
Тепловой поток, q_1 Вт/м ²	22,50783	19,32301	16,61233	13,90165
- " - q_2	22,57588	19,32309	16,61122	13,90176
Температура t_1 , °C	-23,12902	-17,00981	-11,90992	-6,81083
- " - t_2 , °C	-21,0420	-15,45430	-10,79780	-6,14130
- " - t_3 , °C	-2,98465	0,00137	+2,48970	+4,97806
- " - t_4 , °C	+15,07282	+15,45707	+15,77727	+16,09747
- " - t_5 , °C	+15,67175	+16,04487	+16,35544	+16,66621

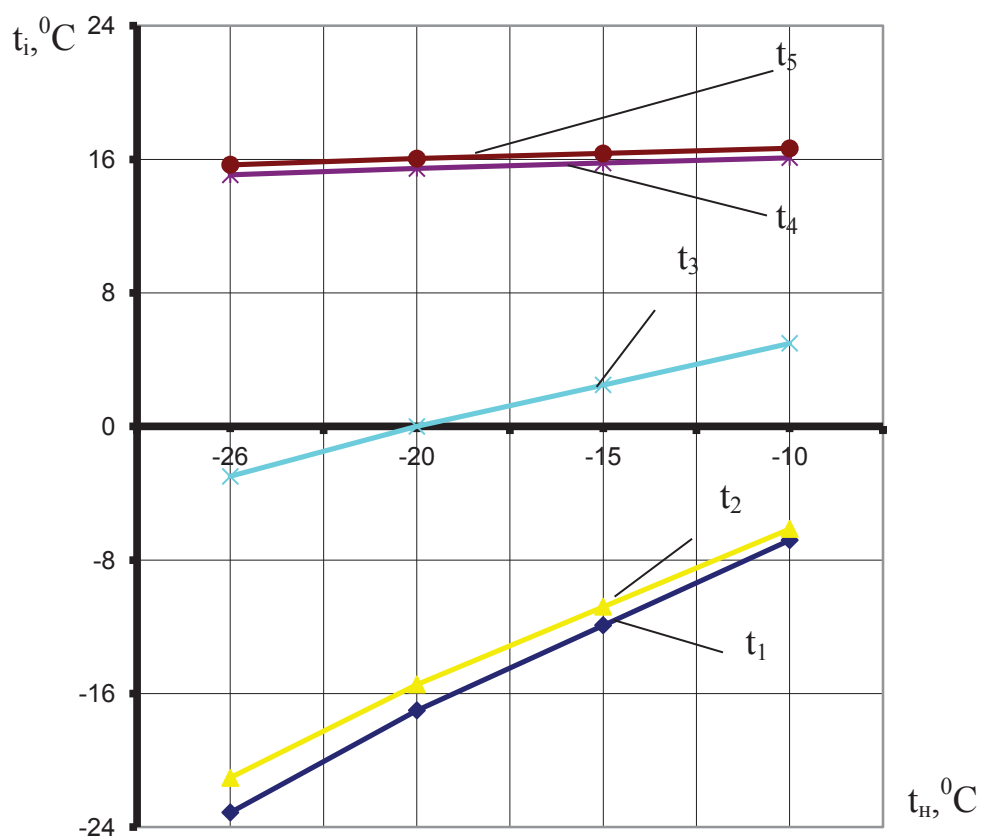


Рис. 3. – Зависимость температур t_i в характерных точках кабины с экраном от температуры окружающего воздуха t_H .

Fig. 3. – Temperature dependence of the characteristic points in t_i cabin with a screen on the ambient temperature t_H .

В целом вся многослойная конструкция теплоизоляции кабин способствует стабилизации температуры, а значит созданию благоприятных комфортных условий труда. Исследованиями изменений теплового потока q в зависимости от температуры окружающего воздуха t_H в интервале от -26°C до -10°C установлено, что значения теплового потока колеблется от 25 Вт/м^2 до 14 Вт/м^2 (рис. 4).

Незначительная разница между значениями q_1 и q_2 (рис. 4) объясняется теплостойкостью воздушной прослойки между светопрозрачным ограждением и экраном. Вместе с тем, исследованиями установлено, что при отсутствии экрана тепловой поток q из помещения в окружающую среду значительно увеличивается.

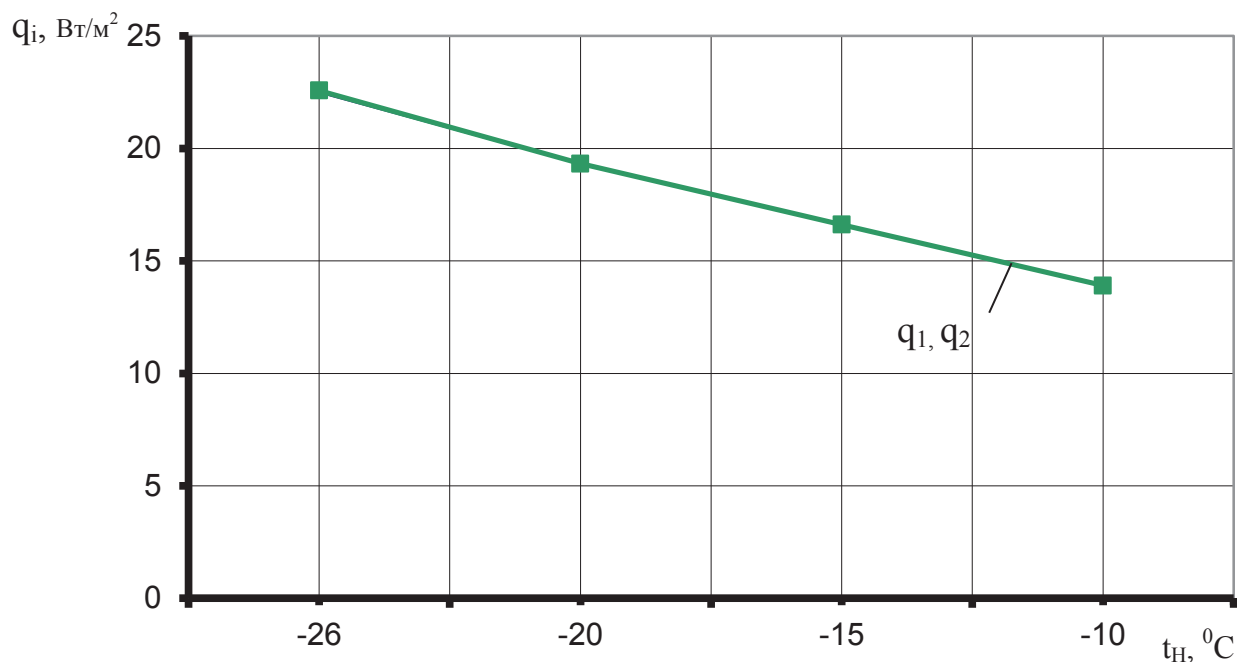


Рис. 4. – Зависимость теплового потока от температуры окружающей среды при наличии энергосберегающего экрана

Fig. 4. – Heat flow to ambient temperature in presence of energy saving screen

При изменении температуры наружного воздуха в указанных выше пределах поток изменяется от 250 Вт/м² до 170 Вт/м².

Надо подчеркнуть, что в исследовании не учтены конвективные потоки воздуха, которые могут иметь место между светопрозрачным ограждением и экраном. Однако, эти потоки не могут существенно повлиять на общую закономерность изучаемого процесса. Энергосберегающая эффективность предложенного защитного экрана объясняется теплоизоляционными свойствами слоя воздуха, образующегося между экраном и внешним ограждением кабины.

ВЫВОДЫ

Уменьшение потерь теплоты из помещения кабины через ограждающую конструкцию означает существенное уменьшение потерь энергии на нагрев воздуха, подаваемого в кабину в зимний период.

Летом наличие экрана снижает интенсивность воздействия солнечной радиации. Вместе с этим уменьшается расход энергии на кондиционирование воздуха, подаваемого в кабину.

ЛИТЕРАТУРА

1. Alternativna 2012: Alternativna yenergetika: [navch. posibnik dlya stud. vishch. navch. zakl.] / M.D. Melnichuk, V.O. Dubrovin, V.G. Mironenko, I.P. Grigoryuk, V.M. Polishchuk, G.A. Golub, V.S. Targonya, S.V. Dragnev, I.V. Svistunova, S.M. Kukharets. – K: «Agrar Media Grup». – 244.
2. Geletukha G.G. 2002: Sovremennyye tekhnologii anaerobnogo sbrzhivaniya biomassy (Obzor) / G.G. Geletukha, S.G. Kobzar // Ekotekhnologii i resursos-berezhniye. – № 4. – 3-8.
3. Boltyanskaya Natalya. 2012: Puti razvitiya otrasli svinovodstva i povysheniye konkurentosposobnosti yeye produktsii / Natalya Boltyanskaya // MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin. – Tom. 14, No 3. – 164-176.
4. Tekhnologi 2010: Tekhnologii Tekhnologii virobništva biogazu: [kurs lektsiy dlya stud. silskogosp. vuziv zi spets. 8.092900 – "Ekobiotekhnologiya"] / V.G. Mironenko, V.O. Dubrovin, V.M. Polishchuk, S.V. Dragnev, I.V. Svistunova. – K.: Kholtekh. – 84.

5. Havrysh Valery. 2011: Perspektivi za-bezpechennya agrarnogo sektora yekonomiki Ukraini ponovlyuvanimi yenergetichnimi re-sursami / Valery Havrysh // MOTROL. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin. – Tom. 13 A. – 107-117.
6. Viktoristannya 2008: Viktoristannya bi-omasi na yenergetichni potrebi v silskomu gospodarstvi. Biogazovi tekhnologii. – Doslid-nitske: UkrNDIPVT im. L. Pogorilogo. – 72.
7. Baader V. 1982: Biogaz: teoriya i praktika / V. Baader, Ye. Done, M. Brennderfer. – M.: Kolos. – 148.
8. Bioyenergiya 2009: Bioyenergiya v Ukraini – rozvitok silskikh teritoriy ta mozhливosti dlya okremikh gromad: Naukovo-metodichni re-komendatsii shchodo vprovadzhennya peredovogo dosvidu agrarnikh pidpriemstv Polshchi, Lit-vi ta Ukraini zi stvorennaya novitnikh ob'ektiv bioyenergetiki, yefektivnogo virobnitstva i vikoristannya biopaliv: [Nauk.-metod. re-komend.] / [V.O. Dubrovin, M.D. Melnichuk, Yu.F. Melnik, V.G. Mironenko ta in.]. K.: Natsionalniy universitet bioresursiv i pri-rodokoristuvannya Ukraini; Institut budiv-nitstva, mekhanizatsii ta yelektrifikatsii sils-kogo gospodarstva, Polshcha, Institut agrar-noi inzhenerii, Litva. – 122.
9. Vedeneyev A.G. 2006: Biogazovye tekhnologii v Kyrgyzskoy respublike: spravochnoye rukovodstvo / A.G. Vedeneyev, T.A. Vedeneyeva. – Bishkek: Yevro. – 90.
10. Malofeyev V.M. 1998: Biotekhnologiya i okhrana okruzhayushchey srede: Uchebnoye posobiye. – M.: Izdatelstvo Arktos. – 188.
11. Tekhnologii 2010: Tekhnologii ta obladnannya dlya vikoristannya ponovlyuvanikh dzherel yenerгии v silskogospodarskomu virobnitstvi / Za red. V.I. Kravchuka, V.O. Dubrovina – Doslidnitske.: UkrNDIPVT im. L. Pogorilogo. – 184.
12. Vedeneyev A.G. 2006: Stroitelstvo biogazovykh ustanovok: kratkoye rukovodstvo / A.G. Vedeneyev, A.N. Maslov. – Bishkek: Yevro. – 28.
13. Biologichni 2010: Biologichni resursi i tekhnologii virobnitstva biopaliva: Monog-rafiya / Ya.B. Blyum, G.G. Geletukha, I.P. Grigoryuk,, K.V. Dmitruk, V.O. Dubrovin, A.I. Ćmets, G.M. Zabarniy, G.M. Kaletnik, M.D. Melnichuk, V.G. Mironenko, D.B. Rakhmetov, A.A. Sabirniy, S.P. Tsigankov – K: "Agrar Media Grup". – 408.
14. Eder B. 2006: Biogazovyie ustanovki. Prakticheskoye posobiye / Barbara Eder, Khaynts Shults. – M.: Kolos. – 240.
15. Biogaz 2010: Biogaz na osnove vozobnovlyayemogo syrya. Sravnitelnyy analiz shestidesyati odnoy ustanovki po proizvodstvu biogaza v Germanii. – Gyultsov. Germaniya: Spetsialnoye agentstvo vozobnovlyayemykh resursov (FNR). – 116.
16. GOST 2011: GOST R 53790-2010: Ne-traditsionnyie tekhnologii. Energetika biotkhodov. Obshchiye tekhnicheskiye trebovaniya k biogazovym ustanovkam. – [Deystvitelen ot 2010-05-31]. – M.: Standartinform – 10. – (Natsionalnyy standart Rossiyskoy Federatsii).
17. Ratushnyak G.S. 2008: Teplovtrati v biogazovykh ustanovkakh pri riznikh temperaturnikh rezhimakh anayerobnogo brodinnya / G.S. Rakushnyak, K.V. Anokhina // Visnik Vinnitskogo politekhnichnogo institutu. – № 5. – 20-24.
18. Protsesi 2008: Protsesi ta aparati biotekhnologichnikh virobnitstv. Chastina 2. Metodichni vkazivki do vikonannya laboratornikh robit z distsiplin " Protsesi ta aparati biotekhnologichnikh virobnitstv" ta "Energobiotekhnologiya" dlya studentiv silskogospodarskikh vishchikh navchalnikh zakladiv 3-4 rivniv akreditatsii zi spetsialnosti 6.092900 "Ekobiotekhnologiya" / M.D. Melnichuk, V.G. Mironenko, V.M. Polishchuk ta in. – K.: Vidavnichiy tsentr NAU. – 38.
19. Mashini 2012: Mashini ta ob-ladnannya silskogospodarskogo virobnitstva. Metodichni vkazivki do vi-konannya laboratornikh robit z distsiplin "Mashini ta obladnannya silskogospodarskogo virobnitstva" dlya studentiv silskogospodarskikh vishchikh navchalnikh zakladiv 3-4 rivniv akreditatsii osvितno-kvalifikatsiynogo rivnya "Bakalavr" na-pryamku pidgotovki "Mashinobuduvannya" / M.D. Melnichuk, V.O. Dubrovin, V.G. Mironenko, V.M. Polishchuk, G.A. Golub, V.S. Targonya, O.I. Ćremenko, S.V. Dragnev. – K.: Vidavnichiy tsentr NUBiP Ukraini. – 36.
20. Yenergobiotekhnologiya 2010: Yenergobiotekhnologiya. Metodichni vkazivki do vikonannya laboratornikh robit z distsiplini "Energobiotekhnologiya" dlya studentiv silskogospodarskikh vishchikh navchalnikh zakladiv 3-4 rivniv akreditatsii zi spetsialnosti 6.092900 "Ekobiotekhnologiya" / M.D. Melnichuk, V.G. Mironenko, V.M. Polishchuk ta in. – K.:

Vidavnichiy tsentr NAU. – 28.

21. Polishchuk V.M. 2012: Yekspres-metod viznachennya teplotvornoї zdatnosti biogazu / V.M. Polishchuk, V.Є. Vasilenkov, M.M. Lobodko, V.S. Voloshin // Naukoviy visnik Natsionalnogo universitetu bioresursiv i prirodokoristuvannya: Zb. nauk. prats. – Kiiv. – № 174. Ch. 2 – 258-263.

**STUDY OF ENERGY CONSERVATION
IN CABIN OF AGRICULTURAL
MACHINERY**

Summary. The conditions that affect energy efficiency in the cabs of agricultural machinery.

Key words: cab, car, energy, construction.

СОДЕРЖАНИЕ

Максим Мельничук, Валерий Дубровин, Василий Таргоня, Семен Драгнев: методологические основы разработки сельскохозяйственных биоинженерных комплексов	3
Максим Мельничук, Валерий Дубровин, Виктор Теслюк, Евгениуш Красовски: технологические основы создания модельной биотехнологии микобиопрепаратов органического земледелия	13
Валерий Дубровин, Александр Еременко, Сергей Выговский: исследование процесса захвата стеблевых материалов вильчатым механизмом	20
Иван Ревенко, Оксана Ачкевич: анализ процесса смешивания кормовых компонентов в смесителе барабанного типа	28
Иван Ревенко, Константин Веселивский: анализ технических средств для стрижки овец с возвратно-поступательным характером движения ножа на территории СНГ	39
Вячеслав Ловейкин, Юрий Човнюк, Константин Почка: синтез линейных регуляторов для задач оптимального управления нестационарными колебаниями автомобильных кранов	45
Вячеслав Ловейкин, Василий Кулик, Оксана Кулик: критерии динамического уравновешивания приводного механизма решетных станков зерноочистительной машины	54
Вячеслав Ловейкин, Юрий Ромасевич: оптимизация управления движением механизмов грузоподъемных машин с электроприводом постоянного тока	65
Вячеслав Ловейкин, Вячеслав Мельниченко: оптимизация динамического режима поворота стрелового крана	70
Юрий Ромасевич: моделирование движения механизма перемещения грузоподъемной машины по оптимальному закону	76
Владимир Булгаков, Николай Березовой, Олег Черныш, Вадим Ярёмченко, Николай Борис: теоретическое исследование среза ботвы сахарной свеклы копирно- ротаторным отделителем	84
Олег Гнатюк, Александр Войналович, Тамара Билько, Владимир Голод: вероятностная оценка риска острого профессионального заболевания (отравления) работников сельского хозяйства при обращении с ядовитыми химическими веществами	90
Сергей Карабинеш: методика определения напряжений в деталях при реализации голографических методов исследований	98
Валерий Макаренко, Константин Муравьев, Танзания Евпак, Николай Каливошко: исследование распределения водорода в сварном соединении в зависимости от температурных условий	105
Григорий Шкариковский: перспективный типоразмерный ряд сельскохозяйственных тракторов	114
Виктор Василенков, Максим Гудзенко: усовершенствование анализа и обработки полученных данных при калориметрических исследованиях	125

Александр Броварец: устройство для мониторинга параметров сельскохозяйственного поля	131
Максим Гудзенко: влияние некоторых технологических параметров маслопресса на его качественные и технические показатели.....	142
Владислав Зубко, Виктор Онычко, Татьяна Хворост, Вячеслав Чуба: методика технологической и технико-экономической оценки машинных агрегатов при проведении предпосевной обработки почвы и посева озимой пшеницы	150
Александр Войналович, Михаил Мотрич, Дмитрий Кофто: применение дефектоскопического контроля для предотвращения аварийных ситуаций на механизированных процессах в сельском хозяйстве	157
Сергей Пилипака, Виталий Бабка, Татьяна Захарова: конструирование плоских кривых в полярной системе координат за заданными свойствами при вращении их вокруг полюса	163
Сергей Пожидаев: о неправомерности применения динамического радиуса в теории качения эластичного колеса	171
Ольга Дубровина: результаты исследований метановой ферментации многокомпонентного субстрата.....	179
Геннадий Голуб, Василий Хмельёвский, Николай Икальчик, Николай Шаблий: расчет линии уборки навоза при беспривязном содержании КРС	187
Юрий Герасимчук: исследование рабочего процесса двигателей внутреннего сгорания по параметрам токсичности.....	195
Владимир Булгаков, Андрей Борис: математическая модель контактного взаимодействия нового рабочего органа для уборки ботвы сахарной свеклы	202
Виктор Полищук, Николай Лободко, Ольга Дубровина: влияние режимов метанового сбраживания на эффективность производства биогаза.....	207
Владислав Рублёв, Елена Девятко: структуризация линии транспортировки молока от сосков вымени к емкости сбора.....	220
Игорь Шевченко, Алексей Ковязин: моделирование природного температурного поля поверхностных слоев земли	228
Ольга Дубровина: выращивание кукурузы для энергетических целей с использованием СР-технологии.....	235
Валерий Дубровин, Геннадий Голуб, Виктор Барановский, Виктор Теслюк: идентификация процесса разработки адаптированной корнеуборочной машины	243
Сергей Карабинёш: конструктивный метод повышения надежности сельскохозяйственной техники при реализации голографии.....	256
Сергей Фрышев: применение эффективных технологий транспортировки зерна от комбайнов	263
Оксана Зазимко, Лариса Клих: влияние рынка труда на формирование программ подготовки специалистов для инженерно-технического обеспечения агропромышленного сектора экономики	269
Алексей Опрышко, Наталья Пасичник: исследование экспериментальной теплицы для приусадебного хозяйства.....	281

Ярослав Коваль: изгиб корня под воздействием рабочего органа корчевательной машины	288
Андрей Новицкий: исследование функции готовности системы «человек-машина» при накоплении повреждений	293
Лилия Савченко: математическое описание автоматизированной системы управления движением жатных машинно-тракторных агрегатов	299
Анатолий Бойко, Александр Бондаренко, Виктор Савченко: исследование динамики изменений показателей надежности пассивно резервированной системы при исправном основном и дублирующем элементах	306
Александр Быстрый, Иван Роговский: определение рационального количества технического контроля механизмов зерноуборочного комбайна	313
Rayisa Ovchar: weakly nonlinear boundaty value problems for differential systems with impulse action	322
Владислав Рубльов, Виктория Опалко: классификация характерных несовершенств зерновых сеялок и направления их устранения	326
Игорь Сивак: контакт частицы минеральных удобрений с конусным делителем пневматического высевающего аппарата	336
Степан Лехман, Мария Панфилова: особенности взаимодействия транспортных средств, как эргатических систем, при возникновении ДТП	343
Светлана Потапова: классификация и оценка измельчителей зерна	348
Иван Ревенко, Юлий Ревенко: качество приготовления и эффективность использования концентрированных и комбинированных кормов	356
Геннадий Голуб, Олег Марус: технико-экономическая эффективность биотехнологического процесса производства энтомологического препарата трихограммы	362
Александр Лавриненко: статистические характеристики коэффициента сопротивления воздуха семян при его линейной зависимости от скорости движения	370
Зиновий Ружило, Сергей Кюрчев, Леонид Роговский, Валентина Мельник: определение ресурса восстановленных деталей автотранспортных средств	377
Светлана Тарасенко, Сергей Кюрчев: исследование энергосбережения в кабинах сельскохозяйственных машин	384

LIST OF THE REVIEWERS

- | | |
|--------------------------|-------------------------|
| 1. Maksym Melnychuk | 13. Sergey Pylypaka |
| 2. Valeriy Dubrovin | 14. Leonid Rogovskiy |
| 3. Gennady Golub | 15. Nicholas Berezovoy |
| 4. Victor Tesyluk | 16. Oleg Chernysh |
| 5. Vyacheslav Loveykin | 17. Oleg Marus |
| 6. Ivan Revenko | 18. Sergey Fryshev |
| 7. Aleksandr Voynalovich | 19. Stepan Lekhman |
| 8. Aleksey Opryshko | 20. Valentyna Melnyk |
| 9. Andrey Novitskiy | 21. Vasiliy Khmelevskiy |
| 10. Grigoriy Shkaryvskiy | 22. Victor Polyschuk |
| 11. Iwan Rohowski | 23. Yuliy Revenko |
| 12. Konstantin Pochka | 24. Zinoviy Ruzhylo |

Editors of the „MOTROL" journal of the Commission of Motorization and Energetics in Agriculture would like to inform both the authors and readers that an agreement was signed with the Interdisciplinary Centre for Mathematical and Computational Modelling at the Warsaw University referred to as "ICM". Therefore, ICM is the owner and operator of the IT system needed to conduct and support a digital scientific library accessible to users via the Internet called the "ICM Internet Platform", which ensures the safety of development, storage and retrieval of published materials provided to users. ICM is obliged to put all the articles printed in the "MOTROL" on the ICM Internet Platform. ICM develops metadata, which are then indexed in the "Agro" database.

Impact factor of the „MOTROL" journal according to the Commission of Motorization and Energetics in Agriculture is 2,37 (September 2013).

GUIDELINES FOR AUTHORS (2013)

The journal publishes the original research papers. The papers (min. 8 pages) should not exceed 12 pages including tables and figures. Acceptance of papers for publication is based on two independent reviews commissioned by the Editor.

Authors are asked to transfer to the Publisher the copyright of their articles as well as written permissions for reproduction of figures and tables from unpublished or copyrighted materials.

Articles should be submitted electronically to the Editor and fulfill the following formal requirements:

- Clear and grammatically correct script in English,
- Format of popular Windows text editors (A4 size, 12 points Times New Roman font, single interline, left and right margin of 2,5 cm),
- Every page of the paper including the title page, text, references, tables and figures should be numbered,
- SI units should be used.

Please organize the script in the following order (without subtitles):

Title, Author(s) name (s), Affiliations, Full postal addresses, Corresponding author's e-mail Abstract (up to 200 words), Keywords (up to 5 words), Introduction, Materials and Methods, Results, Discussion (a combined Results and Discussion section can also be appropriate), Conclusions (numbered), References, Tables, Figures and their captions

Note that the following should be observed:

An informative and concise title; Abstract without any undefined abbreviations or unspecified references; No nomenclature (all explanations placed in the text); References cited by the numbered system (max 5 items in one place); Tables and figures (without frames) placed out of the text (after References) and figures additionally prepared in the graphical file format jpg or cdr.

Make sure that the tables do not exceed the printed area of the page. Number them according to their sequence in the text. References to all the tables must be in the text. Do not use vertical lines to separate columns. Capitalize the word 'table' when used with a number, e.g. (Table).

Number the figures according to their sequence in the text. Identify them at the bottom of line drawings by their number and the name of the author. Special attention should be paid to the lettering of figures - the size of lettering must be big enough to allow reduction (even 10 times). Begin the description of figures with a capital letter and observe the following order, e.g. Time(s), Moisture (% vol), ($\%, \text{m}^3 \text{m}^{-3}$) or ($\%, \text{gg}^1$), Thermal conductivity ($\text{W m}^{-1}\text{K}^{-1}$).

Type the captions to all figures on a separate sheet at the end of the manuscript.

Give all the explanations in the figure caption. Drawn text in the figures should be kept to a minimum. Capitalize and abbreviate 'figure' when it is used with a number, e.g. (Fig. I).

Colour figures will not be printed.

Make sure that the reference list contains about 30 items. It should be numbered serially and arranged alphabetically by the name of the first author and then others, e.g.

7. Kasaja O., Azarevich G. and Bannel A.N. 2009. Econometric Analysis of Banking Financial Results in Poland. Journal of Academy of Business and Economics QABE), Vol. IV Nr I, 202-210.

References cited in the text should be given in parentheses and include a number e.g. [7].

Any item in the References list that is not in English, French or German should be marked, e.g. (in Italian), (in Polish).

Leave ample space around equations. Subscripts and superscripts have to be clear. Equations should be numbered serially on the right-hand side in parentheses. Capitalize and abbreviate 'equation' when it is used with a number, e.g. Eq. (I). Spell out when it begins a sentence. Symbols for physical quantities in formulae and in the text must be in italics. Algebraic symbols are printed in upright type.

Acknowledgements will be printed after a written permission is sent (by the regular post, on paper) from persons or heads of institutions mentioned by name.