

Polish Academy of Sciences  
University of Engineering and Economics in Rzeszów  
University of Life Sciences in Lublin  
Faculty of Production Engineering

# **MOTROL**

**COMMISSION OF MOTORIZATION AND ENERGETICS  
IN AGRICULTURE**

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

**Vol. 17, No 4**

**LUBLIN – RZESZÓW 2015**

**Editor-in-Chief:** *Eugeniusz Krasowski*

**Assistant Editor:** *Jerzy Grudziński*

#### **Associate Editors**

1. Agricultural machinery: *Dmytro Voytiuk*, 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 Kadaj*, Rzeszów, *Michał Proksa*, Rzeszów, *Lech Licholaj*, Rzeszów
5. Mathematical, statistics: *Andrzej Kornacki*, Lublin, *Rostislav Bun*, Lviv

#### **Editorial Board**

*Dariusz Andrejko*, Lublin, Poland  
*Andrzej Baliński*, Kraków, Poland  
*Volodymyr Bulgakow*, Kiev, Ukraine  
*Zbigniew Burski*, Lublin, Poland  
*Karol Cupiał*, Częstochowa, Poland  
*Aleksandr Dashchenko*, Odessa, Ukraine  
*Kazimierz Dreszer*, Lublin, Poland  
*Konstantin Dumenko*, Mykolayiv, Ukraine  
*Dariusz Dziki*, Lublin, Poland  
*Stepan Epoyan*, Kharkiv, Ukraine  
*Jan Gliński*, Lublin, Poland  
*Dimitriy Goncharenko*, Kharkiv, Ukraine  
*Janusz Grzelka*, Częstochowa, Poland  
*Aleksandr Holubenko*, Lugansk, Ukraine  
*L.P.B.M. Jonsen*, Groningen, Holland  
*Stepan Kovalyshyn*, Lviv, Ukraine  
*Józef Kowalczyk*, Lublin, Poland  
*Volodymyr Kravchuk*, Kiev, Ukraine  
*Petro Kulikov*, Kiev, Ukraine  
*Elżbieta Kusińska*, Lublin, Poland  
*Andrzej Kusz*, Lublin, Poland  
*Janusz Laskowski*, Lublin, Poland  
*Kazimierz Lejda*, Rzeszów, Poland  
*Jerzy Merksiz*, Poznań, Poland  
*Jarosław Mykhajlovych*, Kiev, Ukraine  
*Janusz Mysłowski*, Szczecin, Poland

*Jaromir Mysłowski*, Szczecin, Poland  
*Ignacy Niedziółka*, Lublin, Poland  
*Stanisław Nikolajenko*, Kiev, Ukraine  
*Paweł Nosko*, Lugansk, Ukraine  
*Gennadij Oborski*, Odessa, Ukraine  
*Yurij Osenin*, Lugansk, Ukraine  
*Marian Panasiewicz*, Lublin, Poland  
*Sergiej Pastushenko*, Mykolayiv, Ukraine  
*Iwan Rohowski*, Kiev, Ukraine  
*Zinovii Ruzhylo*, Kiev, Ukraine  
*Vjacheslav Shebanin*, Mykolayiv, Ukraine  
*Povilas A. Sirvydas*, Kaunas, Lithuania  
*Volodymyr Snitynskiy*, Lviv, Ukraine  
*Stanisław Sosnowski*, Rzeszów, Poland  
*Henryk Sobczuk*, Lublin, Poland  
*Ludvikas Spokas*, Kaunas, Lithuania  
*Andrzej Stępniewski*, Lublin, Poland  
*Michał Sukach*, Kiev, Ukraine  
*Aleksandr Sydorchuk*, Kiev, Ukraine  
*Beata Ślaska-Grzywna*, Lublin, Poland  
*Wojciech Tanaś*, Lublin, Poland  
*Giorgiy F. Tayanowski*, Minsk, Bielarus  
*Leonid Tishchenko*, Kharkiv, Ukraine  
*Denis Viesturs*, Ulbrok, Latvia  
*Anatolij Yakovenko*, Odessa, Ukraine  
*Tadeusz Złoto*, Częstochowa, Poland

All the articles are available on the webpage: <http://www.pan-ol.lublin.pl/wydawnictwa/Teka-Motrol.html>

All the scientific articles received positive evaluations by independent reviewers

Linguistic consultant: *Ivan Horodetsky*, *Stepan Kovalyshyn*

Typeset: *Viktor Shevchuk*, *Adam Niezbecki*

Cover design: *Hanna Krasowska-Kołodziej*

Photo on the cover: *Natalia Zhytariuk*

© Copyright by Polish Academy of Sciences 2015

© Copyright by University of Life Sciences in Lublin 2015

© Copyright by University of Engineering and Economics in Rzeszów 2015  
in co-operation with Lviv National Agrarian University in Dublany 2015

#### **Editorial Office address**

Polish Academy of Sciences Branch in Lublin  
Pałac Czartoryskich, Plac Litewski 2, 20-080 Lublin, Poland  
e-mail: [eugeniusz.krasowski@up.lublin.pl](mailto:eugeniusz.krasowski@up.lublin.pl)

#### **Printing**

Lviv national agrarian university  
St. Vladimir the Great, 1, Dubliany

#### **Publishing Office address**

Lviv national agrarian university  
St. Vladimir the Great, 1, Dubliany

ISSN 1730-8658  
Edition 150+16 vol.

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОДИФФУЗИОННОГО ОКСИДИРОВАНИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СПЛАВА СИСТЕМЫ НИОБИЙ-ТИТАН

**Надежда Рацька<sup>1</sup>, Кристина Василив<sup>1</sup>, Степан Ковалишин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Физико-механический институт им. Г.В.Карпенко НАН Украины,  
ул. Наукова, 5, Львов, Украина. E-mail: [nadija.ratska@gmail.com](mailto:nadija.ratska@gmail.com)

<sup>2</sup>Львовский национальный аграрный университет  
ул. В. Великого, 1, Дубляны, Украина.

**Nadija Ratska<sup>1</sup>, Chrystyna Vasyliv<sup>1</sup>, Stepan Kovalyshyn<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Karpenko Physico-mechanical institute of NAS of Ukraine  
Naukova str., Lviv, Ukraine. E-mail: [nadija.ratska@gmail.com](mailto:nadija.ratska@gmail.com)

<sup>2</sup>Lviv National Agrarian University  
St. Vladimir the Great, 1 Str., Dubliany, Ukraine.

**Аннотация.** Статья посвящена установлению закономерностей формирования термодиффузионных оксидированных слоев на поверхности ниобий-титанового сплава типа ВН для повышения его износостойкости.

Проанализировано влияние температуры экспозиции сплава ВН-10 на воздухе на его структуру, физико-механические и трибологические свойства. Установлено, что после ряда изотермических выдержек формируется газонасыщенный слой, который состоит из твердых оксидных включений, локализованных в мягкой матрице твердого раствора титана в ниобии. Количество и размеры оксидных включений растут с температурой окисления, при этом концентрация кислорода увеличивается более интенсивно при температуре ХТО свыше 700°C.

Выявлено, что с ростом температуры ХТО от 300 до 900°C толщина оксидированного слоя увеличивается от 30 до 70 мкм, а его максимальная микротвердость – от 4,2 до 7 ГПа в результате поэтапного формирования дисперсных фаз оксидов NbO, NbO<sub>2</sub>, Nb<sub>x</sub>Ti<sub>y</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>k</sub>, TiNb<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, Ti<sub>0,4</sub>Al<sub>0,3</sub>Nb<sub>0,3</sub>O<sub>2</sub>, армирующих поверхностный слой сплава.

Впервые предложен способ поверхностного упрочнения ниобий-титановых сплавов, который заключается в их комбинированной химико-термической обработке с формированием поверхностного насыщенного кислородом композиционного слоя, состоящего из включений сложных оксидов типа рутила Ti (Nb, Al, V) O<sub>2</sub> в матрице. При этом формируется газонасыщенный слой с содержанием оксидных включений 40...50 об. %, обеспечивающий повышение износостойкости сплава в ~5 раз.

**Ключевые слова:** ниобий-титановый сплав, оксидирование, структура, микротвердость, трибологические свойства.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Сплавы системы ниобий-титан применяются в машиностроении как уникальные тугоплавкие, теплопроводные, высокопрочные и коррозионностойкие материалы. Однако, в условиях эксплуатации, включающих фрикционное взаимодействие (фреттинг, кавитация и т.д.), устойчивость этих материалов недостаточна.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Дополнительной химико-термической обработкой кислородом можно достичь повышения поверхностной прочности и износостойкости ниобий-титановых сплавов [1-7]. Однако влияние технологических режимов оксидирования на химический состав оксидных фаз, микроструктуру оксидированных слоев в этих материалах и их свойства сложное и исследовано недостаточно [8-19].

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исследовать влияние технологических режимов термодиффузионного оксидирования на структурно-фазовое состояние и трибологическое поведение сплава системы ниобий-титан ВН-10.

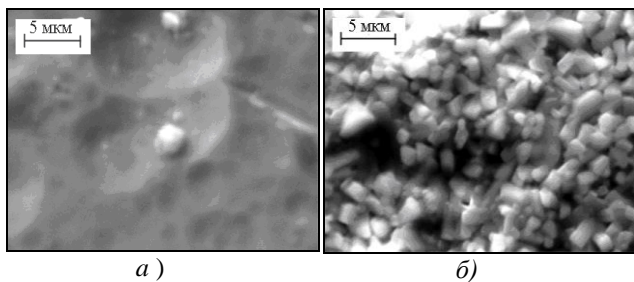
Исследовали сплав ВН-10 (32 мас.% Ti, 8 Al, 4 V; 1,8 Zr; 0,13 В 0,05 С, остальные Nb). Химико-термическую обработку (ХТО) проводили на воздухе в печи типа СНОЛ 1.6.2, 5.1 / 9-ИЗ С течение 1 ч и вакууме в печи марки СНВ-1.3.1 при 1100 или 1200°C при давлении 10<sup>-2</sup> Па. Для металлографических исследований поверхностных слоев использовали оптический микроскоп "Neophot-2", сканирующий электронный EVO 40XVP с системой микро-рентгеноспектрального анализа на энергодисперсионном рентгеновском спектрометре INCA ENERGY 350. Микротвердость измеряли прибором ПМТ-3 при нагрузках 0,05...0,1 Н. Фазовый состав определяли на диффрактометре ДРОН-2 с использованием

излучения  $\alpha$ -Fe (пакеты программного обеспечения DHN-PDS и CSD) [20]. Испытывали трением в условиях реверсивного движения для пары трения пластина из исследуемого металла – шар из корунда. Нагрузка 1,5 МПа, скорость скольжения индентора 1,6 мм/с, продолжительность испытаний 2000–90000 с.

#### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Исследовано влияние температуры окисления на воздухе на структурно-фазовое состояние сплава ВН-10. Установлено, что после изотермического нагрева при температуре свыше 400°C на поверхности начинают формироваться зерна оксидов. Их количество и размеры растут с температурой окисления, и при 1100°C они полностью покрывают поверхность. При этом концентрация кислорода на поверхности сплава при температуре ХТО до 600–700°C увеличивается на 10...11%, а свыше 700°C – на 50%. Анализ рентгенограмм свидетельствует, что после окисления при температуре до 500°C в приповерхностных слоях сплава образуется твердый раствор кислорода и титана в ниобии, при 500°C начинают формироваться простые оксиды NbO, NbO<sub>2</sub>, а свыше 700°C – сложные соединения типа Ti<sub>0,4</sub>Al<sub>0,3</sub>Nb<sub>0,3</sub>O<sub>2</sub> и TiNb<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.

В результате диффузии кислорода в подповерхностной зоне сплава формируется газонасыщенный слой с повышенной микротвердостью. Толщина этого слоя растет от 30 до 70 мкм с увеличением температуры от 400 до 900°C, при этом его максимальная микротвердость увеличивается от 4,2 до 7 ГПа (рис. 2). Структура газонасыщенного слоя гетерогенная, он состоит из твердых оксидных включений, локализованных в мягкой матрице твердого раствора титана в ниобии. Такая структура способствует улучшению износостойкости материала: согласно принципу Шарпи-Бочвара, оптимальное соотношение твердой и мягкой фазы составляет 50:50% [13].

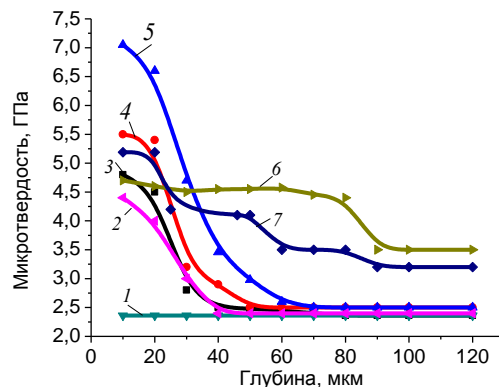


**Рис. 1.** Поверхность сплава после окисления на воздухе в течение часа при температурах: а – 600; б – 1100°C

**Fig. 1.** Surface of alloy after oxidizing at air during 1h at the temperature: а – 600; б – 1100°C

Для повышения ресурса сплава ВН-10 в условиях фрикционного взаимодействия предложено увеличить толщину окисленного слоя путем комплексной КТО, которая заключалась в предыдущем окислении при температуре 800...1100°C в течение 1...3 ч и последующем вакуумном отжиге при температуре 1100...1200°C. Отжиг способствует

увеличению толщины газонасыщенного слоя в 3–5 раз, но его структура зависит от температуры и продолжительности процесса. В частности, после отжига при 1100°C в структуре возникают две зоны: внешняя – с высокой плотностью оксидных включений (более 80%) и внутренняя, где их значительно меньше (рис. 3 а). Микротвердость внешней и внутренней зон отличается на 1...1,5 ГПа (рис. 2, кривая 7). С повышением температуры окисления до 1100°C и его продолжительности до 5 ч содержание оксидных включений во внутренней зоне растет, однако неоднородность структуры сохраняется.



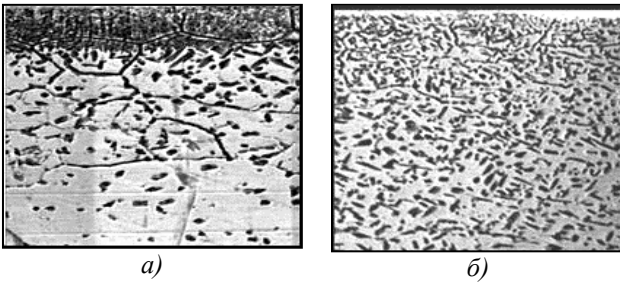
**Рис. 2.** Распределение микротвердости по сечению сплава ВН-10 после окисления при температуре (°C): 1–300; 2 – 400; 3 – 500; 4 – 800; 5 – 900 та после КХТО при режимах: 6 – окисление при 900°C (3 ч) и отжиг при 1200°C; 7 – окисление при 800°C (1 ч) и отжиг при 1100°C

**Fig. 2.** Distribution of microhardness through cross-section of alloy ВН-10 after oxidation at the temperature (°C): 1 – 300; 2 – 400; 3 – 500; 4 – 800; 5 – 900 and 6 – oxidation at 900°C (3 h) and annealing at 1200 °C; 7 – oxidation at 800°C (1 h) and annealing at 1100°C

С повышением температуры отжига до 1200°C увеличивается глубина газонасыщенного слоя и однородность структуры. Наиболее равномерное распределение оксидных включений в матрице получено после окисления при 900°C в течение 3 ч и при 1100°C в течение 1 ч (рис. 3б).

В этих случаях глубина газонасыщенного слоя достигает 90...100 мкм (рис. 2, кривая б), содержание оксидных включений в диффузионной зоне составляет 40...50%. При более высоких температурах оксидных включений в диффузионном слое более 60%, а после окисления при 800°C не превышает 20% (рис. 3). При формировании структуры, содержащей 40...50% оксидных включений в объеме насыщенного композиционного слоя выделяются сложные оксиды типа Ti(Nb,Al,V)O<sub>2</sub> в твердом растворе Ti в Nb.

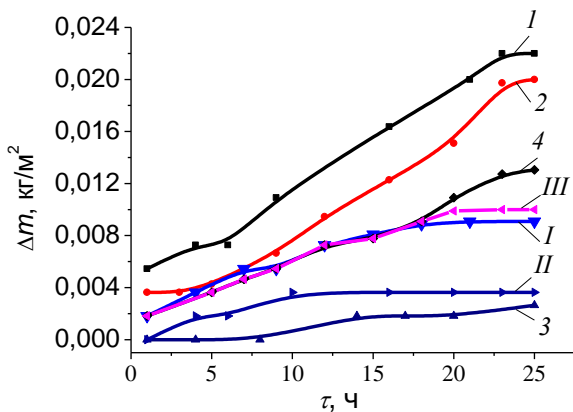




**Рис. 3.** Микроструктура поверхностного слоя сплава ВН-10 после КХТО: *a* – оксидирование при 800°C 1 ч и отжиг при 1100°C (оксидных включений >20 %), *б* – оксидирование при 900°C 3 ч и отжиг при 1200°C (оксидных включений ~ 40 %) ×250

**Fig. 3.** Microstructure of surface layer of alloy BN-10 after combined chemicothermal treatment: *a* – oxidizing at 800°C during 1 h and annealing at 1100°C (oxide inclusions >20 %), *b* – oxidizing at 900°C during 3 h and annealing at 1200°C (oxide inclusions ~ 40 %) ×250

Исследовано физико-механические и трибологические характеристики сплава ВН-10 после оксидирования и комплексной ХТО. После оксидирования при 100–300 и 700–900°C повышение износостойкости незначительное (рис. 4), поскольку при низких температурах газонасыщенный слой тонкий и несплошной, а при высоких – способен к охрупчиванию. Наивысшая износостойкость у сплава, оксидированного при 500°C. При этом поверхность дорожки трения гладкая, практически без повреждений. В структуре газонасыщенного слоя сочетаются твердые оксидные армирующие включения и пластическая матрица в соотношении приблизительно 50:50%.

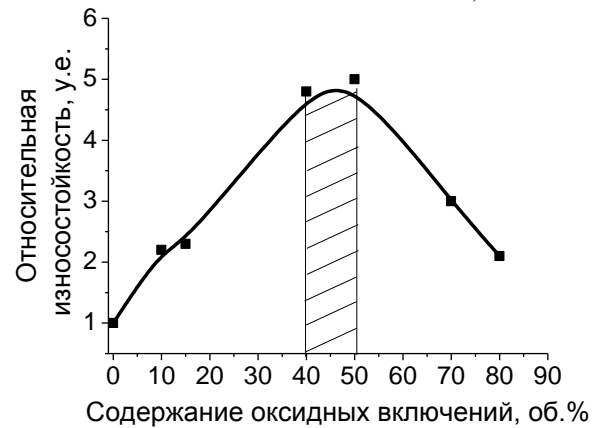


**Рис. 4.** Износ сплава ВН-10 в исходном состоянии (1), после оксидирования при 300°C (2), 500°C (3), 900°C (4) и после КХТО: I – оксидирование при 800°C (1 ч) и отжиг при 1200°C; II – оксидирование при 900°C (3 ч) и отжиг при 1200°C; III – оксидирование при 1100°C (3 ч) и отжиг при 1200°C

**Fig. 4.** Wear of alloy BN-10 in initial state (1) and after oxidizing at 300°C (2), 500°C (3), 900°C (4) and after combined chemicothermal treatment: I – oxidizing at 800°C (1 h) and annealing at 1200°C; II – oxidizing at 900°C (3 h) and annealing at 1200°C; III – oxidizing at 1100°C (3 h) and annealing at 1200°C

Характер изнашивания сплава после КХТО зависит от особенностей его микроструктуры, в частности, от содержания оксидных выделений в диффузионном слое. Высокая износостойкость выявлена в газонасыщенном слое, содержащем 40–50 % оксидных фаз в объеме. Такое строение оксидированного слоя обеспечивает, в частности, оксидирование при 900°C на протяжении 3 ч и дальнейший отжиг при 1200°C (рис. 5).

После КХТО при режимах, обеспечивающих иное соотношение фаз в объеме слоя, износостойкость хуже (на рис. 5 режимы I и III, при которых количество оксидных включений в матрице составляет соответственно 10–15 % та 70–80 %).



**Рис. 5.** Зависимость износостойкости сплава ВН-10 после КХТО от содержания оксидных включений в газонасыщенном слое

**Fig. 5.** Dependence between wear resistance of alloy BN-10 after combined chemicothermal treatment and oxides content in gas-saturated layer

При оптимальных режимах оксидирования (при 500°C) и КХТО (оксидирование при 900°C на протяжении 3 ч и отжиг при 1200°C) износостойкость сплава повышается в 5–6 раз.

#### ВЫВОДЫ

1. Установлены температурно-временные параметры режимов химико-термической обработки сплава ВН-10 с целью получения диффузионного композиционного газонасыщенного слоя из содержанием оксидных включений в матрице 40...50% для повышения его износостойкости.

2. Выявлено, что после комбинированной химико-термической обработки при оптимальном режиме (оксидирование при 900°C на протяжении 3 ч и дальнейший вакуумный отжиг при 1200°C на протяжении 1 ч) формируется газонасыщенный слой, содержащий 40...50% твердых оксидных включений типа  $Ti(Nb, Al, V)O_2$  в твердом растворе титана в ниобии, обеспечивающий лучшие трибологические свойства сплава.

3. Износостойкость оксидированного материала после такой обработки повышается в ~5 раз при сухом реверсивном трении на воздухе.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Бурханов Г.С., Уфимов Ю.В. 1986.** Тугоплавкие металлы и сплавы / Под ред. Г.С. Бурханова, Ю.В. Уфимова. – М.: Металлургия, 251.
2. **Войтович Р.Ф., Головка Э.И. 1984.** Высокотемпературное окисление металлов и сплавов: Справ. – К.: Наук. думка, 255.
3. **Самсонов Г.В., Борисова А.Л., Жидкова Т.Г. и др. 1978.** Физико-химические свойства оксидов: Справ. М.: Металлургия, 472.
4. **Широков В.В., Рацька Н.Б. 2008.** Закономерности окисления ниобия с повышенным составом титана. Физ. хим. механика материалов. № 4, 102–108. (Украина).
5. **Лютый С.М., Єлисеєва О.І., Степанишин В.І. и др. 1995.** Механизм и закономерности окисления систем Nb–Ti та Nb–Ti–Si. Физ.-хим. механика материалов. № 1, 107–115. (Украина).
6. **Широков В.В., Рацька Н.Б. 2007.** Влияние примесей титана на структуру и физико-механические свойства ниобия. Физ.-хим. механика материалов. № 2, 65–70. (Украина).
7. **Murakami T., Mano H., Kaneda K. et al. 2010.** Friction and wear properties of zirconium and niobium in a hydrogen environment. *Wear*. **268**, 721–729.
8. **Василив Х., Вынар В., Рацька Н., Панасюк П. 2013.** Влияние температуры окисления на микромеханические и трибологические свойства сплава системы Nb–Ti–Al. Motorization and power industry in agriculture (MOTROL). – Lublin. No. 4, 186–192.
9. **Василив Х., Вынар В., Рацька Н. 2011.** Особенности изнашивания  $\alpha$ -титановых сплавов при водородном влиянии. Motorization and power industry in agriculture (MOTROL). – Lublin. v.13D, 198–202. (Украина).
10. **Xu Li-juan, Xiao Shu-long, Tian Jing, Chen Yu-yong, Huang Yu-dong. 2009.** Microstructure and dry wear properties of Ti-Nb alloys for dental prostheses. *Trans.nonferrous met. Soc.* – China, 639–644.
11. **Копецкий Ч.В. 1974.** Структура и свойства тугоплавких металлов. – М.: Металлургия, 187.
12. **Семенов А.П. 1972.** Трение и адгезионное взаимодействие тугоплавких металлов при высоких температурах. М.: Наука. 160.
13. **Макаркин А.Н., Назаренко П.В. 1983.** Исследование влияния водорода на изменение микроструктуры приповерхностных слоев при внешнем трении. Трение и износ. №1, 120.
14. **Фиргер И.В. 1982.** Термическая обработка сплавов: Справ. Л.: Машиностроение, 304.
15. **Rupck R. J. Sheip L.V. 1956.** High-Temperature Technology. John Wiley and Sons, Inc., New York, 114–130.
16. **Tcvikilevitch O.S., Vasylyv C.B. 2002.** Stability of strengthened niobium alloys in long-term high-temperature loading conditions. *Z. Metallkunde*. №11, 1123–1131.
17. **Васильева Е.В., Горбова А.С., Прокошкин Д.А. 1975.** Структура и упругие характеристики сплавов системы Nb–Ti. *Металловедение и термическая обработка металлов*. №3, 73–74.
18. **Hensley C.F. Male A.T., Rowe C.W. 1968.** Friction properties of metal oxide at high temperatures. *Wear*. №3, 233–235.
19. **Mathieu S., Knittel S., Berthod P., Mathieu S., Vilasi M. 2012.** On the oxidation mechanism of niobium-base situ. *Corrosion*. №.60, 181–192.
20. **Powder Diffraction File 1974: Search manual alphabetical listing and search section of frequently encountered phases.** *Inorganic*. – Philadelphia: SMA, 1974.

**APPLICATION OF THERMODIFFUSION  
OXIDATION FOR IMPROVING THE  
TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF NIOBIUM-  
TITANIUM ALLOYS**

**Summary.** The paper covers the problem of establishing the regulations of the thermodiffusion oxidized layers formation on the surface of niobium-titanium alloy BH to improve its wear resistance.

The influence of exposure temperature of the alloy in air on its structure and tribological properties is analyzed.

It is found that after a series of isothermal treatment gas-saturated layer has been formed. This layer consists of solid oxide inclusions trapped in the soft matrix of the solid solution of niobium titanium. The number and size of oxide inclusions grows with temperature of oxidation. The concentration of oxygen increases more rapidly with temperature over the 700°C.

It is found that with the increase of oxidation temperature from 300 до 900°C the oxidized layer thickness increases from 30 to 70 nm, and its maximum microhardness grows from 4,2 to 7 GPa as a result of formation of dispersed phase oxides NbO, NbO<sub>2</sub>, Nb<sub>x</sub>Ti<sub>y</sub>Al<sub>z</sub>O<sub>k</sub>, TiNb<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, Ti<sub>0,4</sub>Al<sub>0,3</sub>Nb<sub>0,3</sub>O<sub>2</sub>, which reinforce the surface layer of the alloy.

For the first time the method of surface hardening of the niobium-titanium alloys is proposed. It consists in their combined chemical and thermal treatment with formation of the surface oxygen-enriched composite layer consisting of the complex oxides inclusions of rutile-type Ti(Nb, Al, V)O<sub>2</sub> in the matrix. In this case the gas-saturated layer with the content of oxide inclusions of 40-50 vol. % is formed. It provides the increased wear resistance of the alloy in about 5 times.

**Key words:** niobium-titanium alloy, oxidized layers, structure, microhardness, tribological properties.

## MARKET TRANSFORMATION OF SYSTEM OF KEEPING AGRIBUSINESS SUPPLIED WITH MATERIAL AND TECHNICAL RESOURCES IN UKRAINE

*Georgij Cherevko*

*Lviv National Agrarian University*

*Str. Vladimir the Great, 1, Dublany, Ukraine. E-mail: gcherevko@ukr.net*

*Zheshov University*

*St. Cviklinskij, 2, Zheshov, Poland.*

*Георгий Черевко*

*Львовский национальный аграрный университет,*

*ул. В. Великого, 1, Дубляни, Украина. E-mail: gcherevko@ukr.net*

**Summary.** The current level of agricultural development in Ukraine today is clearly insufficient. The critical state of the industry is largely due to significant deficiencies in logistics. Further development of agricultural production is objectively related to its technical and technological upgrading that in market conditions must be settled by market methods. Due to its specificity agriculture requires a reliable system of material and technical resources. In Ukraine the level of its development is still far from optimal and does not meet market requirements: which on the one hand are provided by the availability of the free market and competition, but on the other hand, as the experience of economically developed countries shows, require objectively reasonable state regulation in this field. Like every other market, inputs for agriculture are potentially economic self-regulating mechanism that operates in the financial, economic, organizational and legal relations in the sale of these resources. Disparities in the provision of agricultural economy of material and technical means have arisen because the changes in the economic mechanism of agriculture functioning have not been taken into account. That is why market inputs in Ukraine cannot be considered civilized. The amount of market inputs for agriculture in Ukraine will be increasing gradually. It is best formed by creation and development of regional technical and commercial structures for the equipment sale. The leading role in this process should belong to machine-building enterprises, dealers and intermediary structures for equipment sales and maintenance. The final transformation of the current system of logistics in agribusiness market infrastructure may be based on certain principles and under appropriate conditions. The most important among which is the efficient support of the state and equal economic conditions for all segments of the market. In this regard, the main aspects of theoretical propositions concerning the nature and functioning of market inputs, the market and its trends, the main directions of further market transformation system of logistics in agriculture and the necessary principles and conditions are analyzed in this article.

**Key words:** market, inputs, competition, agriculture, dealers, leasing

### FORMULATION OF THE PROBLEM

The current level of agricultural development in Ukraine has been increasing gradually, despite the un-

friendly political and economic situation in the country. However, today it can not be considered rational because it does not provide the appropriate level of food provision, which is demonstrated in the unbalanced diet of the population, prevailing bakery, potatoes, sugar, chicken and milk in their meal but not enough fruits, vegetables and red meat. Due to its specificity agriculture requires a reliable system of material and technical resources. It should include the following:

- accounting and forecasting the changes in the needs of agribusiness in main financial resources for the country as a whole and for individual regions throughout the year;

- formation of the necessary material reserves and allocating them in the country;

- operative accounting and maneuvering of reserves for the purpose of agribusiness, depending on the situation prevailing during the main technological processes in agriculture and related industries.

The problem is that in Ukraine the level of development of the system is still far from optimal and by its nature does not meet market requirements: which on the one hand are provided by the availability of the free market and competition, but on the other hand, as the experience of economically developed countries shows, require objectively reasonable and justified state regulation in this field to maximize approximation of providing material and technical resources to the needs of the customers – manufacturers of final products that in a whole creates high level of this problem relevance.

### ANALYSIS OF RECENT RESEARCH AND PUBLICATIONS

The problems and current issues of logistics in agricultural production, innovation and investment development of agriculture are investigated by a lot of scholars in Ukraine and abroad: V. Andriichuk, J. Bilouska, V. Boyarchuk, M. Zubets, M. Kisil, V. Kotelyanets, V. Kravchuk, P. Laika, I. Levitskii, M. Lobas, M. Malik, M. Mohyliova, P. Musyka, A. Peresada, J. Petrovych, G. Pidlisetskii, P. Sabluk, V. Saiko, O. Sydorchyuk, V. Sytnyk and others. However, the current level of support, the poor state of the material and technical base of agriculture in Ukraine, the dynamic changes in the market environment indicate the absence of large-scale positive trends to improve the situation. Priority and critical importance of further investigation is due to

produce several new initiatives and commitments. The key role is focused on optimization of agricultural material and technical means as well as effective usage.

### TASK PROPOUNDING

The aim of this article is to present results of logistical support of agriculture in Ukraine, to identify the causes of present situation and justify the main ways and possibilities of improvement.

### MATERIAL AND METHODS OF RESEARCH

This paper provides data from statistical publications and individual results of scientists dealing with the problem of improvement in market system formation providing agricultural enterprises with the necessary logistical resources. Research methodology includes a standard set of economic and statistical research methods, including abstract, logical, historical and monographic ones, methods of index and comparisons.

### SUMMARY OF OBTAINED RESULTS

Theoretical foundations.

Inputs are a set of resources such as people, raw materials, energy, information, or finance that are put into a system (such as an economy, manufacturing plant or system of services) to obtain a desired output. Inputs are classified under costs in accounting [1]. It is obvious that under the market conditions ensuring the implementation of agro-industrial complex logistical resources should be done by market methods.

Like every other market, inputs for agriculture are potentially economic self-regulating mechanism that operates in the financial, economic, organizational and legal relations in the sale of these resources. The formation of such a market is characterized by gradual transition from centralized supply of material resources to implement transactions based on free sale on a commercial basis, taking into account supply and demand, financial capabilities of these resources manufacturers. This generally enhances commercial and business relations in production, sale and consumption of inputs. However, under consumption of inputs should be understood not only their immediate operation, but maintenance, storage and transportation as well as a possible full conversion technology.

Logistical support is a system of principles, forms, methods, instruments and structures aimed at production and supply of technical equipment, spare parts, fuel, pesticides, technical, technological and production services. Logistics system is a set of producers of inputs, trade intermediaries, service units and government agencies that regulate relations in the field of technical and technological support. The activity of this system should be directed to the reproduction and development of material and technical base, comprehensive mechanization and automation of technological processes, restoring and maintaining of soil fertility in agriculture using domestic engineering and production of material resources [1].

The main structures that operate within the economic and technological relations on the market inputs are manufacturers of agricultural, food and trade machinery, chemical industry, commercial and intermedi-

ary organizations, repair and maintenance of machinery and equipment businesses, technical services, research, design and testing institutions.

Material support conditions of agriculture in Ukraine and its factors.

Development of agriculture in Ukraine in recent years is characterized by positive dynamics of growth [2]. Nowadays agribusiness in Ukraine creates more than 20% of GDP and 37% of total exports. In 2014, the only sector that showed positive growth was agriculture, which production increased by 2.8% (including 4.1% in agricultural enterprises and 1.2% of households). It was done due to high record of grain harvest (63.8 million tons) and crop growth (3.1%) per year [3]. Dynamics of livestock during the year was stable as well with growing volumes of 2%. The volume of agricultural production in all categories of enterprises at current prices in 2014 amounted to 370.8 billion. UAH, including 55% of enterprises and 45% in private households [4].

Results of agricultural sector activity with availability of necessary raw materials have a significant impact on food and beverage businesses. Summarizing the results in 2014 the volume of production during the current year increased by 2%, production of food products increased by 4.6%, fruits and vegetables reservation increased by 2.9%, production of meat and meat products – 0.5%, oils and animal fats – 21.5%, dairy products – 0.1%, milling industry, starches and starch products – 0.6%, sugar – 66.8%. At the same time, there was a decrease in industrial output of bread, bakery and flour products (10.5%), cocoa, chocolate and sugar confectionery (23.8%); beverages (8.3%) [4].

In 2014 the profitability of agricultural production and providing related services (excluding budget donations) as a whole was 26.3% in contrast to 11.4% during the previous year. The profitability of crop production was 29.2% in contrast to 11.1% in 2013 [5].

Besides from agricultural sector Ukraine receives 40% of foreign exchange earnings. Export of agricultural products in 2014 was 16.67 billion \$. It was almost a third of total exports of goods (53.91 billion \$) [6].

However, the current level of agricultural development in Ukraine today is clearly insufficient. The average daily diet of Ukraine's population is now almost the extreme level of established indicator (2500 kcal). Thus, for food purposes in Ukraine population consumes over 60% of the family budget (compared to 15-20% in Europe and 8.10% in the USA) [7].

Further development of agricultural production is objectively related to its technical and technological upgrading that due to market conditions objectively must be settled by market methods. Existing market inputs in Ukraine includes the following segments:

- market of new domestic resources supplied by dealers, enterprises-manufacturers, branded, trade and commercial centers;
- domestic market of recovered resources coming from repair facilities, branded centers and resellers;
- market of new imported resources, supplied by enterprises-importers, commercial and service companies, dealers and representatives;

- market of imported recovered resources delivered by foreign companies, representatives or dealers;
- market of used foreign resources that are sold without residual value with negligible degree of wear. Sales are carried by firms and branches of foreign companies, dealers and agents [8].

The critical state of industry is largely due to significant deficiencies in logistics, a sharp deterioration in the solvency of agricultural producers. The level of logistical means availability in most agricultural enterprises does not exceed 50% of the regulatory process needs [1]. Nowadays agricultural enterprises are provided by domestic agricultural machines only by 45-65% of the estimated technological needs. Furthermore 95% of all the machines are operated after the end of its working terms, almost two-thirds of tractor equipment aged about 20 years or more.

According to the Ministry of Agrarian and Food Policy of Ukraine, the level of depreciation of machinery and equipment in agriculture since 05.01.2013 currently was of 70% (tractors of about 78% and combine harvesters – 72%). Due to physical wear and technical issues annually 25-35% of tractors, combines and other agricultural machines are not available. That is why technological needs for tractors today is about 400 thousand units, combine harvesters - over 50 thousand units, beet-root harvesters - about 8.5 thousand units. Because of financial insolvency to purchase new equipment manufacturing plants cannot expand their production. They are loaded on 10-20%, depreciation of technological equipment reaches 70-80%, and its average age is 30-35 years [9]. Costs for repairs and maintenance of physical deterioration of inputs make up 70% of the funds to purchase new equipment, 40% of cars are idle due to technical reasons [10].

Resource reduction has negative impact on agricultural production and the rate of agricultural machinery renovation. Capital investment in agriculture in recent years has decreased by more than 40%. Currently we are lack of logistical support that leads to high costs of raw materials, hampers its deep processing and reduces the possibility of expanding the range of food [1]. Reduced production of agricultural mechanization and price rising leads to machine wear increasing and this in the long run reduces its technical readiness, leads to disruption of farming deadlines in agricultural work [11].

Disparities in the provision of agricultural material and technical means have arisen because changes in the economic mechanism of agricultural functioning production, development of multiculturalism in agriculture and areas of specialization, sizes and forms of production, especially the development of market relations have not been taken into account. The low level of material and technical resources provision and incomplete use of natural and industrial potentials in agribusiness also caused significant distortions in the structure of economic complex of the country. These reasons are of social and economic nature. The cost of fixed assets increased mainly through their indexing without additional new capacities [10].

To a large extent, the deterioration of the material and technical base of agriculture in Ukraine influenced the elimination of agricultural machinery repair and

maintenance system. According to Yuri Konkin's data, in order to ensure the tractor T-150K viability for ten years we have to spend 270% of its original price and 3,300 man-hours [12].

Liquidation of "Silhosteknika" enterprises signified a full transition of logistics agriculture into private business. Today, due to the lack of structured organizational, technical and technological services all the maintenance of complex equipment assigned to machine operators. Sometimes if some sophisticated equipment on the tractor or combine machine breaks, mechanic simply disconnects it. The existing system of technical services in the country comes mostly (except corporate service) for spare parts sale. But the poor quality of spare parts in Ukraine is another key problem our enterprises and companies are faced to [12]. Lack of repair technologies, detergents, vehicles diagnostic turned classical repair process on trivial disassembly carried out unprofessionally and unskilled. Accessible repair serving base in most farms is degraded, distributed and devastated. Repair and maintenance of equipment is usually done in unheated rooms or outside in the dust and dirt.

In Ukraine engineering for the needs of the agricultural sector is developing very slowly and uncertainly. Our agricultural machinery is able to produce annually only 300 units of combine harvesters and about 5 thousand of tractors [13]. Ukrainian factories producing agricultural machinery found themselves in very difficult financial and economic situation. Domestic manufacturers are now poor, their scientific and engineering base is weak, competitiveness and cooperative production is very low [14]. And the pace of agricultural technology currently does not inspire any optimism to quick improvement of material and technical base of agriculture through national production [15]. By 2013 the domestic industry produced 29 combines "SKIF", 4 units of SKIF 440 Tucano », 30 units of 330 SKIF PALESSE and 13 units of " Svarog ", that is all - 76 units totally. In Ukraine, only one plant is capable of producing harvesters; engines for tractors and combines in Ukraine are not produced at all; range of products of domestic production is not of any comparison with foreign one; servicing of domestic appliances is also problematic [13].

In 2013 agricultural machinery was purchased worth 6.85 billion UAH, including foreign production worth 5.69 billion UAH (83%). The proportion of vehicles purchased by public support programs amounted to 1.6%. In 2009, these shares accounted for respectively 71.5% and 6.6% [13]. So we cannot still do without importing agricultural machinery, it is almost impossible. Moreover, the improvement of technologies requires more powerful and reliable technical means [16]. The bulk of imported agricultural machinery is combine harvesters and tractors. In 2011, Ukraine imported more than 2,700 grain harvesters worth about 330 mln. USD. Among the leading in Ukraine are the following: Claas (515 pcs., 25.3% of total imports harvesting), John Deere (385 pcs., 17.4%), "PALESSE" (467 pcs., 15.1%) and among importers in the first place are "Technotorg-Don" (496 pcs., 16.2% of total imports harvesting in Ukraine) and "Rostselmash" (236 pcs., 7.4%), followed by American importers and European harvesters "Rise"

(95 pcs., 6.5%), "Agrotek" (76 pcs., 5.2%), "Novofarm" (83 pcs., 4.6%), "Eridon-Tech" (67 pcs., 4%) [17].

During the same period Ukraine imported 10 thousand power tractors over 80 hp in the amount of 330 million dollars. Among the brands in this sector lead MTZ agricultural machinery (8957 pcs., 47.2% of total imports of tractors), John Deere (519 pcs., 19.0%), Case (310 pcs., 11.3%), New Holland (183 pcs., 6.5%). Among importers are "Technotorg-Don" (4653 pcs., 24.7% of total imports of tractors in Ukraine) and Trading House "MTZ-Belarus-Ukraine" (2562 pcs., 14.0%), followed by American and European importers tractors "Novofarm" (158 pcs., 6.1%), "Agrotek" (140 pcs., 5.7%), Ahrobudivelnny Alliance "Astra" (11 pcs., 5.5%) [17]. Among tractors imported to Ukraine, the largest proportion is given to tractors of power 250-350 hp. The interest in this technology is rapidly growing [18]. The most popular models of global manufacturers of tractors for agriculture in Ukraine include Claas Atles, Claas Xerion, John Deere John Deere 8430 and 8530, Case Magnum, New Holland, Fendt Vario, Fendt Fendt 930 and 936, Massey Ferguson 8480 [18].

Overall competition among dealers intensifies and will become tougher in future. This caused by factors such as consolidation of agricultural holdings, which are becoming more demanding for technology; alignment of price and machines quality. On the first place is put service and financial capacity of dealers. There is strengthening fight between dealers of agricultural products for potential customers. That is why dealers are advertising strictly their products and presenting advantages. In 2012 company Titan Machinery Ukraine (TMU) opened its office in Ukraine. It is the official dealer of Case IH and powerful technology distributor Case Construction, New Holland, New Holland Construction. The main advantage of the company is considered top high after-sale services, timely delivery of spare parts and maintenance in a very high level. With the right approach to the selection of spare parts and service they do not need to spend extra effort [19]. That is, a good product needs no special advertising.

Directions and opportunities for further market transformation of system of keeping agribusiness supplied with material and technical resources.

There are two main directions of agriculture improvement in material and technical base of Ukraine. The first one is to renew agricultural machines of domestic origin or to import production from abroad.

The improvement of material and technical support in agribusiness should be based on

- property repair transport relations reformation;
- creating an extensive network of intermediary companies located near its customers;
- development of direct links between producers and consumers of material and technical means.

Intermediaries in rural areas should be established on

- the basis of technical centers and universal dealer office plants based on various forms of property, which will assume the functions and responsibilities by supplying not only new technology, but also spare parts, materials and equipment;

- organizations of warranty repairs, maintenance of agricultural machinery throughout its operation, recovery and sale of spare parts for worn machines; providing materials to the required range and terms of use; providing leasing and rental technology; fulfillment of certain works and services.

According to the mentioned above special significance in agribusiness is given to leasing [10].

One of the main directions in market inputs and services organization in agriculture is development of direct contacts between producers and consumers, reducing the number of mediators. It can easily be achieved making the following the scheme: plant - commodity; plant - dealer - commodity; plant - leasing companies - commodity. This market is emerging towards the creation and development of regional technical and commercial structures for the equipment sale. The leading role in these processes should belong to machine-building enterprises - dealers and intermediary structures for sales and maintenance of equipment. Machine building plants and other producers of inputs must develop firm maintenance by creating its market infrastructure, technical centers, dealerships and rental items, machine and technological units as well as shops. Machine building plants should take responsibility for technical and chemical implementation, process equipment, spare parts and repair materials, organization of repair and maintenance of machines throughout the period of their operation, renewal and sale of spare parts.

Actually long-term direction of development will be achieved by forming an extensive network of barter and dealerships through which manufacturers can implement and provide technical repairs and maintenance services of tractors [20]. In the USA producers have a marketing network of dealers as well as independent dealer networks [21]. The development of dealer networks on the basis of competition will reduce maintenance costs, machine downtime, increase efficiency of agricultural machinery as well as facilitate direct contact with the manufacturer.

On the other hand it is not so easy to become a powerful official dealer of the manufacturer or brand of agricultural machinery. You need to earn a good reputation in the relevant relationships and, in addition, make the necessary investments (2 mln. euro to a service center, 1.5 million. euro to technology and 1 mln. euros –to a spare parts warehouses), which must constantly be updated [17]. Obviously, not everyone involved in the sale of agricultural machinery could make such a significant investment. It requires quite large sales techniques.

Today it will be a good reason for Ukraine to invest its own production of agricultural machinery because these machines will be 3-7 times cheaper than similar units of foreign technology. For almost identical technical specifications Ukrainian tractor HTZ-1631 is four times cheaper than the American counterpart "John Deere-8120". Imported equipment is 1.5-2 times higher in comparison with domestic counterparts operating costs. As for reliability, the study indicates that during the first years of exploitation on the farms, domestic tractors MTBF break down 2-3 times rarely than, for example, similar American analogue. But with increasing life of denial break down begins to grow [22].

Obviously, this is due to specific structure of selling. For example, in the USA market some farmers actually do not repair their machines, and after 3-4 years of operation just sell them. Other farmers are inclined to purchase used items 4-5 times cheaper than new technology and start investing more money in its maintenance and repair. In our conditions, not every agricultural enterprise can afford new imported machinery in Ukraine and nowadays we do not have appropriate service structures for its repairing. In addition, foreign energy-technique was adapted to block working with domestic cars and takes a lot of space to work. The problem of domestic agricultural mechanical engineering and tractor could effectively be solved if we start cooperation between foreign and domestic equipment manufacturers and at the same time it will increase the use of modern materials and quality components of machines. The main problem in deciding the purchase of new inputs for farmers is the lack of funds. Therefore, domestic manufacturers are trying to use these resources in practice of economic relations with end users to use foreign methods and techniques of providing these consumers with different preferences and financial facilitated. In order to facilitate the implementation of such approaches in 2012 Parliament established a special lending regime for domestic engineering, recognizing in domestic appliances if their share in the cost of raw materials, components, assemblies, parts and components of domestic production will exceed 60% [23]. In 2013 the minimum degree of localization of combines and tractors production in Ukraine with power more than 89kVt for their participation in the program to stimulate the development of domestic engineering for agriculture was reduced to 35%, the units with power 89 kW to 20% (previously it was 50%) [24]. The Law of Ukraine "About engineering support system of agriculture in Ukraine" defines principles of market relations in the engineering and technical support agribusiness; established economic, legal and organizational principles of functioning primary and secondary market equipment; technical and technological service, market lubricants [8].

### CONCLUSIONS

1. Improving the material and technical supply of agribusiness has to become crucial in the development of agricultural policy of Ukraine. Strengthening the material and technical base of agriculture, implementation of scientific and technological progress are the main ways out of the economic crisis.

2. Due to a new mechanism of economic performance, the development of peasant (farmer) farms, agricultural cooperatives and collective rental, as well as increased requirements for product range to meet the needs of mass production are particularly important development issues and strengthening of industrial infrastructure of the means of production. All elements of this infrastructure should be evolved to a level that would have made it possible in future to mechanize and automate loading and unloading and to assume responsibility for search and delivery of the necessary material resources to consumers, providing complex services to other service logistics.

3. The final transformation of the current system of logistics in agribusiness market infrastructure may be based on certain principles and under appropriate conditions:

- non-interference in the operation of logistics enterprises, demonopolization of the inputs circulation sphere, implementation of conditions for competition between all market participants;

- reasonable state regulation in this sphere in order to maximize providing material and technical resources to the needs of the consumers by creating a favorable investment climate in order to increase domestic and foreign investors favorable level of capital investment and improve business operating conditions in the field of material infrastructure and technological implementation in agribusiness;

- direction of the financial, credit and tax state policy to support the recovery and solvency of agricultural enterprises to ensure the implementation of the expanded reproduction of fixed assets and the corresponding receipt of working capital;

- ensuring equal economic conditions between inputs consumers, delivery, maintenance and providing industrial and financial services;

- creating conditions for implementation of state programs on development of domestic agricultural machinery;

- economic and environmental control over the activities of domestic and foreign enterprises in the logistic support of AIC and its constant monitoring;

- promotion of highly qualified personnel and information support for technical, technological, economic and managerial problems solving in agribusiness logistics.

4. Further development of agricultural machinery in Ukraine has good possibilities providing world's leading manufacturers of agricultural machinery dealer network expansion and increasing competition between them.

### LITERATURE

1. The system of logistics in Ukraine and formation of the market production. Available online at: <<http://agroua.net/economics/documents/category-121/doc-155/>> (Ukraine).
2. **Horska A. 2003.** Ukraine's problems in the context of European integration. *Economy AIC*, 1, 132-135 (Ukraine).
3. Social and economic development of agricultural sector in the public interest. 2005. *Economics of Ukraine*, 4, 4-20 (Ukraine).
4. The only industry of Ukraine, which showed growth of economic indicators last year. 2015. *Agricultural Bulletin*, January 27, Available online at: <[tsn.ua/groshi/nazvali-yedinu-galuz-ukrayini-yaka-torik-pokazala-zrostannya-ekonomichnih-pokaznikiv-405400.html](http://tsn.ua/groshi/nazvali-yedinu-galuz-ukrayini-yaka-torik-pokazala-zrostannya-ekonomichnih-pokaznikiv-405400.html)> (Ukr.).
5. *Agricultural Ukraine in 2014: stat. bulletin*. Kyiv. - Available online at: <<http://www.ukrstat.gov.ua/>> (Ukraine).



6. **Dospekhova E. 2015.** How agriculture can secure Ukraine. Business Capital. Economics. Available online at: < [www.dsnews.ua/economics/chomusilske-gospodarstvo-mozhe-stati-garantom-bezpeki-01042015131200](http://www.dsnews.ua/economics/chomusilske-gospodarstvo-mozhe-stati-garantom-bezpeki-01042015131200)> (Ukraine).
7. **Cherevko G. 2005.** Prospects and problems of Ukraine integration into the European Union. Prospects of cooperation in agriculture in the process of Ukraine integration into the European Union: Materials of the International Scientific Conference 15-16 September 2005 Lvov: LSAU, 12-29 (Ukraine).
8. **Fedorak V. 2011. Trends in engineering support of agricultural production.** Effective economics, 28-33. (Ukraine).
9. **Koshelnyk V. 2014.** Logistical support of agricultural enterprises. Effective economics. - №.4.- P.56-63 (Ukraine).
10. Logistics forms in AIC. Available online at: <<http://agroua.net/economics/documents/category-121/doc-156/>> (Ukraine).
11. Organization of farms servicing production. Available online at: <<http://agro.net/economics/documents/category-121/doc-157/>> (Ukraine).
12. **Voitiuk V., Demko A. 2007.** Unobtrusive technical services in agriculture. Propozition, 12, 106-109. (Ukraine).
13. **Mazur E. 2012.** Technical Focus. Ukrainian Farmer, 1, 28-29 (Ukraine).
14. **Bilousko Y. 2007.** Investment provision of technical and technological reequipments of agriculture. Economy of AIC, 6, 32-35 (Ukraine).
15. **Cherevko G., Krupych O., Krupych S. 2013.** Development of technological and material system background of farmer households, MOTROL: Commission of motorization and energetics in agriculture - an international journal on operation of farm and agri-foog industry machinery. Lublin-Rzeszów.
16. **Babytsky L. Sobolewski I. 2012.** Complex of mobile equipment maintenance and diagnosis as the basis for resource-saving agribusiness technologies in technical services of Ukraine. MOTROL: Commission of motorization and energetics in agriculture - an international journal on operation of farm and agri-foog industry machinery, 14, 5, 3-7.
17. **Yevtushenko V. 2012.** Agricultural market in process. Ukrainian Farmer, 6, 86-87 (Ukraine).
18. **Klochko I. 2012.** Tractors for field. Agromarket, 1, 5-8 (Ukraine).
19. A new player in the market of Ukraine. Available online at: < [www.titanmaszinery.com](http://www.titanmaszinery.com)> (Ukraine).
20. **Didkovska L.** Modernization of logistics in agriculture. Economic Sciences. Economy 12. agricultural sector. Available online at: <[http://www.rusnauka.com/14\\_NPRT\\_2010/Economics/66044.doc.htm](http://www.rusnauka.com/14_NPRT_2010/Economics/66044.doc.htm)> (Ukraine).
21. **Derevets I. 2007.** Customer base dealerships in the system of agricultural logistics in Ukraine // Economy AIC, 4, 25. (Ukraine).
22. **Korotych P. 2012.** German dealership. The Ukrainian Farmer, 1, 24-25 (Ukraine).
23. Parliament has established a special lending regime for domestic engineering. 2012. The Ukrainian Farmer, 12, 11. (Ukraine).
24. Localization is reduced but we are still lack of money. 2012. Ukrainian Farmer, 6, 12 (Ukraine).

#### РЫНОЧНАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ АПК МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИМИ РЕСУРСАМИ В УКРАИНЕ

**Аннотация.** Существующий уровень развития АПК в Украине сегодня явно недостаточен. Кризисное состояние отрасли в значительной мере обусловлено существенными недостатками в материально-техническом обеспечении. Дальнейшее развитие агропромышленного производства объективно связано с его технико-технологическим перевооружением, что в рыночных условиях хозяйствования объективно должно решаться рыночными методами. Вследствие своей специфичности агропромышленный комплекс в большей степени, чем другие отрасли, нуждается в надежной системе обеспечения материально-техническими ресурсами.

В Украине уровень развития этой системы еще далек от оптимального и по характеру не совсем соответствует рыночным условиям хозяйствования, которые, с одной стороны, предусматривают наличие свободного рынка и конкуренции между субъектами производственно-технологических отношений в этой сфере инфраструктуры, с другой – как свидетельствует опыт экономически развитых стран, объективно требует обоснованного государственного регулирования этой сферы. Как и каждый иной, рынок материально-технических ресурсов является потенциально саморегулируемым экономическим механизмом, действующим в сфере финансово-экономических и организационно-правовых отношений в процессе купли-продажи этих ресурсов.

Диспропорции в обеспечении аграрной сферы экономики материальными и техническими ресурсами возникли вследствие того, что не были учтены изменения экономического механизма функционирования аграрного производства – рынок материально-технических ресурсов в Украине еще нельзя назвать цивилизованным. Объемы рынка материально-технических ресурсов для АПК в Украине в дальнейшем будут возрастать. Рынок материально-технических ресурсов лучше всего формируется в направлении создания и развития региональных технико-коммерческих структур по продаже техники и других ресурсов. Ведущая роль в этих процессах должна принадлежать машиностроительным предприятиям – продавцам техники и посредническим структурам по продаже и техническому обслуживанию техники.

Окончательная трансформация действующей системы материально-технического обеспечения АПК в рыночную инфраструктуру должно осуществляться на основе определенных принципов и при наличии соответствующих условий, главными



из которых являются эффективная поддержка государства и обеспечение равных экономических условий и «правил игры» во взаимоотношениях между всеми субъектами всех сегментов этого рынка.

В связи с этим в данной статье обоснованы главные аспекты теоретических положений сущности и функционирования рынка материально-технических ресурсов, проанализировано состояние

этого рынка и его тенденции, определены основные направления дальнейшей рыночной трансформации системы материально-технического обеспечения агропромышленного комплекса.

**Ключевые слова:** рынок, материально-технические ресурсы, конкуренция, агропромышленный комплекс, дилеры, лизинг.



## УНИЧТОЖЕНИЕ АМБАРНЫХ ДОЛГОНОСИКОВ В СИЛЬНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

*Леонид Червинский, Сергей Усенко, Александр Науменко*

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины  
ул. Героев обороны 15, Киев, Украина. E-mail: lchervinsky@gmail.com*

*Leonid Chervinskiy, Sergey Usenko Aleksandr Naumenko*

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine  
st. Geroev Oboronyi 15, Kiev, Ukraine. E-mail: lchervinsky@gmail.com*

**Аннотация.** Представлены результаты обезвреживания амбарных долгоносиков в зерновой массе под действием сильного электрического поля. Приведено описание установки для обработки зерна в сильном электрическом поле. Показано, что обработка зерна в сильном электрическом поле позволяет полностью уничтожить амбарных вредителей в зерне.

**Ключевые слова:** сильное электрическое поле, диэлектрические пластины, зерновая масса, амбарные вредители, частичные разряды.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

По данным ФАО, ежегодно насекомые вредители поедают до 15% запасов зерна, производимого в мире, а в отдельных странах - 50%. Заселенность зерновых культур насекомыми-вредителями достигает 37%. В Украине ежегодно теряется от вредителей хлебных запасов при хранении не менее 4 млн. тонн зерна [1, 13]. Пораженное зерно загрязняется отходами их жизнедеятельности, хлеб из такого зерна плохо выпекается, ядовитые мочевинокислые соли, которыми пропитаны эти продукты, вызывают острые желудочные заболевания [13].

К активным средствам уничтожения вредителей относится дезинсекция. В настоящее время есть три способа дезинсекции: фумигация, влажная и аэрозольная обработки. Для фумигации используют специальные препараты, в основе которых лежит определенное действующее химическое вещество. В качестве действующих веществ в химических препаратах для фумигации используют фосфид алюминия, фосфид магния и бромистый метил, которые являются достаточно токсичными.

Кроме того фумигация это достаточно сложный процесс, где нужно учитывать следующие требования: полная герметизация складских помещений; в помещениях зерно следует накрывать пленкой; силосы должны быть полностью загружены зерном; невозможна обработка отдельных частей партии зерна; нельзя прерывать процесс обработки; и следующие недостатки: зерно не защищено от повторного заражения; опасность отравления людей газом; длительный простой предприятия; ограничения по температуре зерна не ниже 15°C, наружного воздуха - не ниже 10°C, внутри помещения (летом) - не выше 25°C. Во время фумигации складских помеще-

ний, зерна и продуктов его переработки производители препаратов рекомендуют время обработки в пределах 5 ... 10 суток. Для удаления фумиганта с обработанных объектов после окончания установленной экспозиции фумигации необходимо проводить дегазацию. Продолжительность дегазации - от 2 до 10 и более суток. Реализация продукции производится не ранее чем через 20 суток. После дегазации объектов определяют качество фумигации. В случае обнаружения живых экземпляров вредителей проводят дополнительное обеззараживание [1].

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Авторитетные международные издания *Journal of Entomology* и *Journal of Economic Entomology* указывают, что озон – это потенциальная альтернатива традиционным средствам борьбы с вредителями зерновых запасов [17, 21].

При взаимодействии с биологическими объектами озон действует комплексно. Озон реагирует практически со всеми соединениями, которые входят в состав живой клетки – повреждаются аминокислоты [20], окисляются SH-группы [19], происходит инактивация ферментов [16], изменяется мембранная проницаемость и функции мембранных ферментов [5, 10].

Литературные данные показывают, что при определенных дозах обработки озоном достигается полное уничтожение насекомых-вредителей зерна [6-7, 11, 15, 18].

Недостатком традиционных методов озонирования является подача озона от отдельного генератора озона. Это приводит к уменьшению эффективности озонирования (озон неравномерно распределяется в зерне), потери озона в трубопроводах, которые обеспечивают его подачу к обрабатываемого зерна.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью данной работы является разработка экологически чистой технологии обезвреживания насекомых-вредителей в зерновой массе.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

В основу разработки метода и электротехнических средств для обработки зернового материала в

сильном электрическом поле были положены разработанные на кафедре электропривода и электро-технологий НУБиП Украины способы и устройства, в которых используются электрофизические процессы, происходящие в зерновой массе под действием сильного электрического поля (СЭП) [8, 9].

В предложенном методе обработки зерно размещается между плоско-параллельными пластинчатыми электродами, к которым подводится высокое напряжение. Особенностью такого вида обработки является то, что на зерновую массу, микрофлору и насекомых-вредителей действует комплекс влияний: СЭП; поверхностный и объемный ток в обрабатываемой массе; ионизационные процессы происходящие в воздушном пространстве зерновой массы; аэроионы и озон, которые образуются под действием частичных разрядов [4].

Для исследований было изготовлено лабораторную опытную установку для обработки зерна при движении в камере обработки под действием сильного электрического поля [1]. Экспериментальная установка (рис. 1) являет собою камеру обработки. От высоковольтного трансформатора высокое напряжение прикладывается к плоско-параллельным электродам, между которыми засыпается зерно. Стенки камеры обработки сделаны из диэлектрического материала (оргстекло). Регулирование напряжения питания предусмотрено с помощью автотрансформатора. Для возможности регулирования скорости обработки потока зерновой массы на выходе камеры обработки установлено регулируемый заслонку и электромагнитный вибратор, который питается от сети 220 В.

Внешний вид лабораторной опытной установки показано на рис. 1.

Исследования проводились в двух направлениях: исследования без установки диэлектрических пластин, которые отделяют зерновую массу от высоковольтных электродов и с их установкой на электроды. При установке диэлектрических пластин между электродами и зерном достигается уменьшение полного тока, проходящего через зерно за счет ограничения тока проводимости. Также происходит перераспределение величины электрического поля, что приводит к увеличению напряженности в воздушных промежутках зерновой массы. Следствием этого является увеличение интенсивности частичных разрядных процессов в зерновой массе и, как следствие, увеличение концентрации озона [2, 12]. Увеличение концентрации озона приводит к увеличению смертности насекомых-вредителей.



**Рис. 1.** Внешний вид лабораторной опытной установки для уничтожения насекомых-вредителей в сильном электрическом поле

**Fig. 1.** The exterior view of the laboratory pilot installation for the destruction of insect pests in a high electric field

Исследования проводились на зерне ячменя сорта «Солнцедар» влажностью 12,2%. Для исследований сформированы три объема зерна, в которые поместили по 100 штук амбарных долгоносиков. Обработка проводилась в сильном электрическом поле. Для питания электродов камеры использовался трансформатор напряжения ОСВ-1,5 УХЛЗ мощностью 1,5 кВт. Для измерения напряжения использовался киловольтметр С96 с пределом измерения 30 кВ. Ток, потребляемый камерой обработки контролировался миллиамперметром М906 с пределом измерения 5 мА.

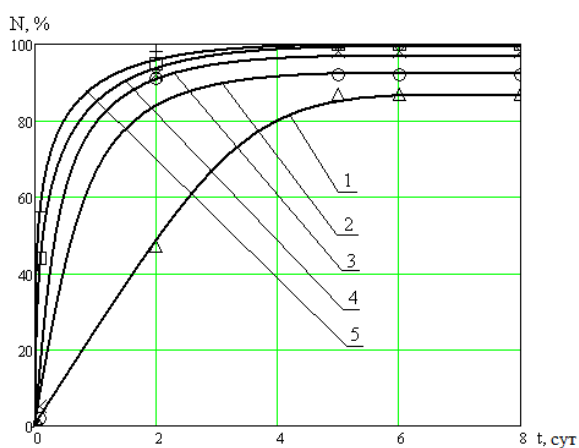
Обработка зерна проводилась в камере размерами: высота камеры - 82 см; ширина электрода - 5 см; расстояние между электродами - 3 см.

В камеру обработки не устанавливались диэлектрические пластины, то есть зерно непосредственно контактировало с высоковольтными электродами. Режимы обработки показаны в таблице 1, результаты обработки – на рис. 2.

**Таблица 1.** Режимы обработки зерна ячменя сорта «Солнцедар», зараженного амбарными долгоносиками в сильном электрическом поле без установки диэлектрических пластин, что отделяли зерновую массу от высоковольтных электродов

**Table 1.** Modes of processing for barley grain varieties "Solntsedar" infected with grain weevil in a high electric field without setting the dielectric plates that separate the grain mass from the high voltage electrodes

Показатель	Режимы обработки				
	1	2	3	4	5
Напряжение СЭП, кВ/см	4	4	4	4	4
Плотность тока, что проходит сквозь зерно, мА/м <sup>2</sup> :					
	начальное значение	22	15	16	24
конечное значение	30	24	32	91	114
Время обработки, мин	3	4	7	12	15



**Рис. 2.** Результаты уничтожения амбарных долгоносиков в сильном электрическом поле без установки диэлектрических пластин: 1 – время обработки 3 мин; 2 – время обработки 4 мин; 3 – время обработки 7 мин; 4 – время обработки 12 мин; 5 – время обработки 15 мин

**Fig. 2.** The results of the destruction of granary weevils in a high electric field without setting the dielectric plates that separate the grain from the high voltage electrodes: 1 – processing time 3 min; 2 – the processing time 4 min; 3 – processing time 7 minutes; 4 – processing time 12 min; 5 – processing time 15 min

Результаты опытов показали, что режимы обработки со временем обработки 3 мин, 4 мин и 7 мин не обеспечивают полного уничтожения вредителей, то есть неэффективны для обезвреживания амбарных долгоносиков.

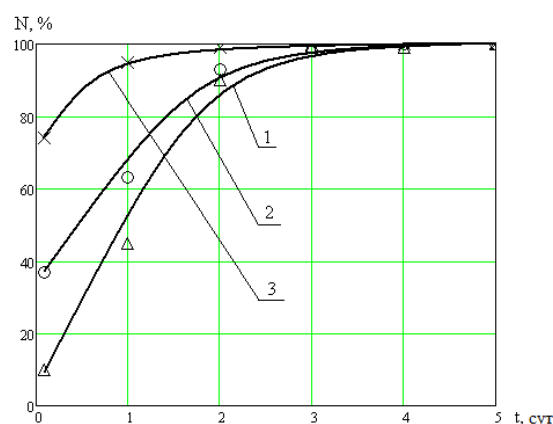
Второе направление обработки - это обработка в сильном электрическом поле с установкой диэлектрических пластин между зерном и электродами. Материал диэлектрических пластин – целлулоид.

Время обработки зерна регулировалось скоростью движения зерна. Режимы обработки представлены в таблице 2, результаты обработки – на рис. 3.

**Таблица 2.** Режимы обработки зерна ячменя сорта «Солнцедар», зараженного амбарными долгоносиками, в сильном электрическом поле с установкой диэлектрических пластин, что отделяют зерновую массу от высоковольтных электродов

**Table 2.** Modes of processing for barley grain varieties "Solntsedar" infected with grain weevil in a high electric field with the installation of dielectric plates that separate the grain mass from high voltage electrodes

Показатель	Режимы обработки		
	1	2	3
Напряжение СЭП, кВ/см	5,33	5,33	5,33
Плотность тока, что проходит сквозь зерно, мА/м <sup>2</sup> :			
	начальное значение	39	37
конечное значение	80	120	200
Время обработки, мин	4	8	15



**Рис. 3.** Результаты уничтожения амбарных долгоносиков у сильном электрическом поле с установкой диэлектрических пластин: 1 – время обработки 4 мин; 2 – время обработки 8 мин; 3 – время обработки 15 мин

**Fig. 3.** The results of the destruction of granary weevils in a high electric field with the installation of dielectric plates that separate the grain from a high voltage electrodes: 1 – processing time 4 min; 2 – the processing time 8 min; 3 – processing time 15 min

Наиболее эффективным режимом обезвреживания является режим 3 с временем обработки 15 мин (полное обезвреживание амбарных долгоносиков произошло через 3 суток после обработки). В то же время обработка с меньшей продолжительностью (4 и 8 мин) также позволяет достичь полного обезвреживания вредителей. Но отмирание вредителей происходило более длительное время.

## ВЫВОДЫ

Полученные результаты исследований по обезвреживанию амбарных долгоносиков позволяют сделать вывод, что данный метод может быть перспективным для уничтожения амбарных долгоносиков в зерне. Эффективной является обработка с установкой диэлектрических пластин на электроды. При этом производится обработка при небольших энергетических затратах.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Bereka O. M. 2011.** Zneshkodzhennya v sylnykh elektrychnykh polyakh komakh-shkidnykiv zerna / O. M. Bereka, O. V. Naumenko // *Motrol. Motorization and power industry in agriculture.* – Volume 13D. – 291-295.
2. **Bereka O. M. 2014.** Povnyy strum zernovoyi masy pid diyeyu zminnoho elektrychnoho polya vysokoyi napruzhenosti [Elektronnyy zhurnal]: Enerhetyka i avtomatyka / O.M. Bereka, S.M. Usenko – K.:NUBiP Ukrayiny, – №3. – 12-17. Rezhym dostupu do zhurnalu: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/eia/index.html>.
3. **Bereka O. M. 2011.** Chastkovi rozryady v zernoviy masi pid diyeyu elektrychnoho polya vysokoyi napruzhenosti zminnoho strumu [Elektronnyy zhurnal]: Enerhetyka i avtomatyka / O.M. Bereka, S.M. Usenko – K.:NUBiP Ukrayiny, – №3. – Rezhym dostupu do zhurnalu: <http://www.nbu.gov.ua/e-journals/eia/index.html>.
4. **Bereka O.M. 2007.** Diya syl'nykh elektrychnykh poliv na nasinna sil'skohospodars'kykh kul'tur / O.M. Bereka // *Elektryfikatsiya ta avtomatyzatsiya sil's'koho hospodarstva.* Naukovo-vyrobnychyy zhurnal. – № 1(20) – 23 – 29.
5. **Volotovskogo I. D. 2002.** Biofizika zhivyykh sistem: ot molekuly k organizmu / Pod red. I. D. Volotovskogo. – Mn.: Belsens, – 204.
6. **Zakladnoy G.A. 1992.** Ozon v khranenni zerna (obzor) / G. A. Zakladnoy. – Moskva: VNIIZ, – 7.
7. **Lovkis Z.V. 2005.** Dezynseksiya komakh-shkidnykiv ozonom / Z.V. Lovkis, T.P. Trots'ka // *Zerno i khlib.* – №2. – 34-35.
8. Pat. 77281 Ukrayina, MPK A23L 3/32, A01F 25/00. Sposib obrobky produktsiyi pry zberihanni i prystryi dlya yoho zdiysnennya / Bereka O.M., Chervins'ky L.S., Salata M.P.; zayavnyk i patentovlasnyk Natsional'nyy ahrarnyy universytet. – №20041008542; zayav. 20.10.2004; opubl. 15.11.2006, byul. №11.
9. Pat. 84978 Ukrayina, MPK A 01 S 1/00. Prystryi dlya obrobky produktsiyi pry zberihanni / Bereka O.M., Chervins'ky L.S., Salata M.P., Usenko S.M.; zayavnyk i patentovlasnyk Natsional'nyy ahrarnyy universytet. – № a200703860; zayav. 06.04.2007; opubl. 10.12.2008, Byul. №23.
10. **Pershin A.F. 1989.** Issledovaniye rezhimov raboty ozoniruyushchey ustanovki s dezinfektsionnoy kameroy / A.F. Pershin, A.V. Fedorov, A.YU. Yevdoseyeva // *Elektrotekhnologii v sel's'kokhozyaystvennom proizvodstve.* Nauchnyye trudy VNIIESKH. – T. 73. – 73-78.
11. Rekomendatsii po ozonnoy i ionoozonnoy tekhnologii dezinsesksii zerna pri khranenni / ZH. D. Ismukhambetov, A.O. Sagitov, S. Yskak. – Almaty: 2011. – 18.
12. **Usenko S.M. 2013.** Znezarazhuyucha obrobka zerna v elektrotekhnolohichnomu kompleksi pid diyeyu elektrychnoho polya vysokoyi napruzhenosti: dysertatsiya na zdobuttya nauk. stupenya kandydata tekhnichnykh nauk: 05.09.03/ Usenko Serhiy Mykolayovych. – K, – 257.
13. **Usenko S.M. 2013.** Znezarazhuyucha obrobka zerna v elektrotekhnolohichnomu kompleksi pid diyeyu elektrychnoho polya vysokoyi napruzhenosti: avtoref. dys. na zdobuttya nauk. stupenya kand. tekhn. nauk: spets. 05.09.03 «Elektrotekhnichni komplekсы ta systemy»/ S.M. Usenko. – K, – 24.
14. **Shevchenko N.H. 2008.** Shkidnyky zapasiv zerna ta kontrol' yikh chysel'nosti / N. H. Shevchenko, T. P. Hordiyenko // *Posibnyk ukrayins'koho khliboroba* – 41-44.
15. Efficacy and fumigation characteristics of ozone in stored maize / Kells S. A., Mason L. J., Maier D. E., Woloshuk C. P. // *Journal of Stored Products.* – 2001. – Vol. 37. – Issue 4. – 371-382.
16. **Freeman B. A. 1979.** Reaction of ozone with phospholipids vesicles and human erythrocyte ghosts / Freeman B.A., Sharman M. C., Mudd J. B. // *Archives of Biochemistry and Biophysics.* — Vol. 197. – Issue 1. – 264-272.
17. **Holingsworth R.G. 2005.** Potential of temperature, controlled atmospheres and ozone fumigation to control thrips and mealybugs on ornamental plants for export / R. G. Holingsworth, J. W. Armstrong // *Journal of Economic Entomology* – Vol. 98. – №2. – 289-298.
18. **Mason L.J. 1996.** Efficacy of ozone to control insects, molds and mycotoxins / Mason L. T., Woloshuk C. P., Maier D. E // *Proc. Intern. Conf. on CAF.* – Nicosia, Cyprus, – 665-670.
19. **Mudd J. B. 1971.** Enhibition Olicolypid Biosynthesis in Chloroplants by ozone and sulfydryl Reagents / J. B. Mudd // *Plant Physiology.* – Vol. 48(3). – 335-339.
20. **Mudd J. B. 1969.** Reaction of ozone with amino acids and proteins / Mudd J.B., Leavitt R., Alpaslan Ongun, McManus T. T. // *Atmospheric Environment.* – Vol. 3. – Issue 6 – 669-681.
21. **Shadia E. 2011.** Abd El-Aziz. Control Strategies of Stored Product Pests / Shadia E. Abd El-Aziz // *Journal of Entomology.* – №8 (2). – 101-122.

#### DECONTAMINATING OF GRAIN WEEVILS IN A HIGH ELECTRIC FIELD

**Summary.** Here are presented the results of granary weevils disposal in the grain mass.

**Key words:** high electric field, the dielectric plates, grain mass, granary pests, partial discharges.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ФИТОМОНИТОРИНГА В ТЕПЛИЦЕ

*Виталий Лысенко, Игорь Болбот, Игорь Чернов*

*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины  
ул. Героев обороны 15, Киев, Украина. E-mail: igor-bolbot@ukr.net*

*Vitaliy Lysenko, Igor Bolbot, Igor Chernov*

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine  
st. Geroev oborony 15, Kiev, Ukraina. E-mail: igor-bolbot@ukr.net*

**Аннотация.** Для навигации электротехнического роботизированного комплекса фитомониторинга в пространстве теплицы вне технологических направляющих необходимо учитывать влияние различных возмущений на угловую скорость (свойства покрытия пола, препятствия). Изучение характера движения электротехнического роботизированного комплекса фитомониторинга (далее робот) в теплице в моменты маневрирования и заезда на межрядные технологические направляющие, что требует постоянной настройки регулятора угловой скорости при наличии различных возмущений. Исходя из этих требований оправдано создание модели движения робота, которая сможет учесть линейную и угловую скорости, а так же моменты сопротивления поворотам при маневрировании. Модель реализовано в среде MathlabSimulink, получено переходные характеристики по каналам линейной и угловой скоростей при различных управляющих воздействиях. Выявлен нелинейный характер влияния момента сопротивления повороту на переходные процессы. Значения, полученные с помощью модели сравниваются с реальными, которые измерены на прототипе робота с помощью инкрементальных энкодеров. Сравнение этих данных дает возможность говорить о адекватности полученной модели.

**Ключевые слова:** модель динамики, робот, теплица, угловая скорость, линейная скорость.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Практический опыт эксплуатации мехатронных систем позволяет сделать вывод, что ведущие колеса робототехнических платформ имеют различную частоту вращений даже при идентичности используемых двигателей, что затрудняет обеспечение движения робота даже по прямой траектории и локализацию его в пространстве. Эта особенность не позволяет осуществить единовременную настройку оборудования на постоянный оптимальный режим. Поэтому для обеспечения стабилизации скорости вращений колес необходимо определить все факторы, влияющие на движение робота и провести моделирование изменений скорости с учетом этих факторов.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

При исследовании характера движения робота в пространстве теплицы примем следующие допущения. Будем рассматривать робот с колесным типом шасси, наиболее характерным для технологических тележек используемых в тепличном хозяйстве для перевозки продукции как и по межрядным направляющим, так и по остальному пространству тепличного комплекса. Будем также считать, что движение робота при измерении фитометрических и фитоклиматических параметров происходит в горизонтальной плоскости с постоянной скоростью  $v$ . Механизм робота является абсолютно жестким, и отсутствует продольное проскальзывание колес робота. Приводная система робота построена на базе двигателей постоянного тока. Допущение относительно движения в горизонтальной плоскости справедливо для данного робота, так как поверхность пола лишена серьезных неровностей которые могли бы оказать существенное влияния на движение робота. Допущение об отсутствии проскальзывания является более существенным и поэтому при моделировании, оно будет учитываться в модели в виде возмущения по каналам линейной и угловой скоростей.

Уравнения движения робота колесного типа (с разностно-моментным принципом поворота) с учетом его динамических свойств, содержащие фазовый вектор, но без рассмотрения момента сопротивления повороту были представлены в таких работах [1, 3-5, 10-20].

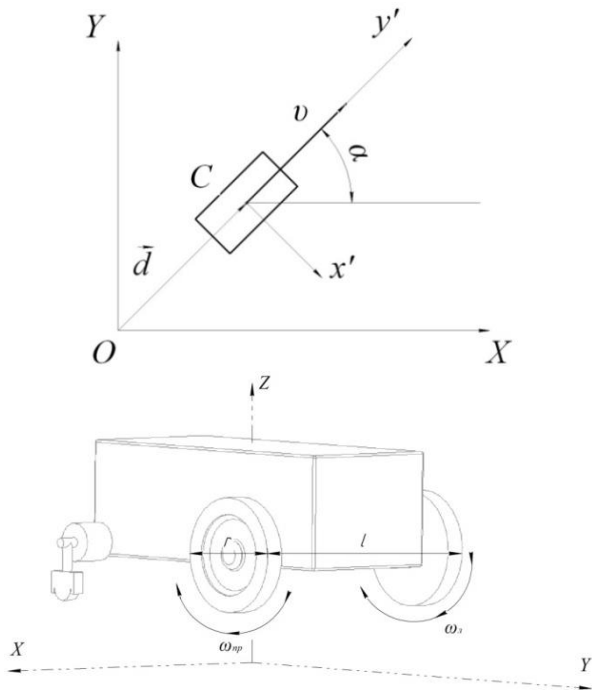
### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Цель исследований – проанализировав факторы, влияющие на перемещения робота в теплице, составить имитационную математическую модель динамики робота и провести проверку ее на адекватность путем сравнения полученных данных с данными реального прототипа.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Положение платформы робота в абсолютной декартовой системе координат  $OXY$  определяется

вектором  $d$  координат центра масс  $C$  и углом ориентации  $\alpha$  (рис. 1) [1].



**Рис. 1.** Платформа робота в абсолютной системе координат  $OXY$

**Fig. 1.** Platform robot in the absolute coordinate system  $OXY$

Кинематические уравнения движения робота в системе координат  $OXY$  имеют вид:

$$\begin{cases} x = v \cdot \cos \alpha, \\ y = v \cdot \sin \alpha, \\ \omega = \dot{\alpha}. \end{cases} \quad (1)$$

При отсутствии проскальзывания скорость линейного перемещения центра масс робота определяется из соотношения:

$$v = \frac{\omega_l + \omega_{np}}{2} \cdot r, \quad (2)$$

где:  $\omega_l, \omega_{np}$  – угловые скорости вращения левого и правого ведущего колеса,  $r$  – радиус колеса.

Угловая скорость робота  $\omega$  в свою очередь определяется выражением 3 (считаем, что правое колесо забегающее, а левое – отстающее, в этом случае положительным направлением угловой скорости считается направление против часовой стрелки):

$$v = \frac{\omega_l + \omega_{np}}{2l} \cdot l, \quad (3)$$

где:  $2l$  – колея робота (расстояние между колесами робота).

Учтем также, что исполнительная система робота, представляет собой два электромеханических привода на базе двигателей постоянного тока, каждый из которых через редуктор приводит в движение ведущие левое и правое колеса и движение робота проходит без проскальзывания.

Уравнения движения робота колесного типа с разностно-моментным принципом поворота [2] с

учетом его динамических свойств [3], содержащих фазовый вектор  $(v, \omega)$ , учитывающие неголономную связь [4] и дополнительный момент сопротивления повороту, имеют вид 4:

$$\begin{cases} m \cdot \dot{v} - m \cdot a \cdot \omega^2 = F_{\text{дв}} - F_{\text{ск}} \\ J \cdot \dot{\omega} + m \cdot a \cdot v \cdot \omega = M_{\text{дв}} - M_c \end{cases}, \quad (4)$$

где:  $m$  – масса робота,  $a$  – координата центра массы робота, которая лежит на оси симметрии робота относительно начала подвижной системы координат,  $F_{\text{дв}}$  – движущая сила,  $F_{\text{ск}}$  – сила противодействия качению,  $M_{\text{дв}}$  – крутящий момент,  $M_c$  – момент сопротивления повороту,  $J$  – момент инерции робота.

Свяжем подвижную систему координат с центром масс робота и используем предположение, что движение робота происходит без проскальзывания, тогда  $a = 0$ , и система (4) принимает такой вид:

$$\begin{cases} m \cdot \dot{v} = F_{\text{дв}} - F_{\text{ск}} \\ J \cdot \dot{\omega} = M_{\text{дв}} - M_c \end{cases}. \quad (5)$$

Определяем  $F_{\text{дв}}$  и  $M_{\text{дв}}$  из уравнения математической модели, описывающей связь между током, напряжением и частотой вращения для двигателя постоянного тока:

$$L \frac{di}{dt} + R \cdot i = U - K_{\omega} \cdot \omega_k \cdot i, \quad (6)$$

где:  $U$  – напряжение питания (управляющее воздействие),  $I$  – ток якоря,  $\omega_k$  – угловая скорость вращения ведущего колеса (рад/с),  $i$  – передаточное число редуктора,  $K_{\omega}$  – коэффициент противо-ЭДС,  $L, R$  – индуктивность якоря двигателя и его активное сопротивление соответственно.

Из выражений (2) и (3) определим  $\omega_k$  и подставим его в выражение (6). Тогда для левого ведущего колеса (отстающего) уравнение (6) приводится к виду:

$$L \frac{di_l}{dt} + R \cdot i_l = U_l - \frac{K_{\omega} \cdot i}{r} \cdot (v \cdot l \cdot \omega), \quad (7)$$

а для правого:

$$L \frac{di_{np}}{dt} + R \cdot i_{np} = U_{np} - \frac{K_{\omega} \cdot i}{r} \cdot (v \cdot l \cdot \omega). \quad (8)$$

Примем предположение [3], что изменение момента как управляющего воздействия, является не-

значительным  $\frac{dl}{dt} = 0$ , и из выражений (7) и (8) вы-

ведем значения тока для каждого из двигателей:

$$i_l = \frac{U_l}{R} - \frac{K_{\omega} \cdot i}{r \cdot R} \cdot (v \cdot l \cdot \omega), \quad (9)$$

$$i_{np} = \frac{U_{np}}{R} - \frac{K_{\omega} \cdot i}{r \cdot R} \cdot (v \cdot l \cdot \omega).$$

$$\text{Тогда, } F_{\text{дв}} = i_l + i_{np} \frac{K_M i}{r}, M_{\text{дв}} = (i_{np} - i_l) \frac{K_M i}{r} l,$$

где:  $K_M = \frac{M_{\text{дв}}}{l}$  – коэффициент пропорциональности тока якоря и момента двигателя. С учетом выражения (9) система уравнений (5) принимает вид:



$$\begin{cases} \frac{m \cdot r^2 \cdot R}{2 \cdot K_{\omega} \cdot K_M \cdot i^2} \cdot \dot{v} + v = \frac{r}{2 \cdot K_{\omega} \cdot i} \cdot (U_{np} + U_{\omega}) - \frac{r^2 \cdot R}{2 \cdot K_{\omega} \cdot K_M \cdot i^2} \cdot F_{ck} \\ \frac{1 \cdot r^2 \cdot R}{2 \cdot K_{\omega} \cdot K_M \cdot i^2 \cdot l^2} \cdot \dot{\omega} + \omega = \frac{r}{2 \cdot K_{\omega} \cdot i \cdot l} \cdot (U_{np} - U_{\omega}) - \frac{r^2 \cdot R}{2 \cdot K_{\omega} \cdot K_M \cdot i^2 \cdot l^2} \cdot M_c \end{cases} \quad (10)$$

Вводим обозначения:  $2l = B$ ,  $T_v = \frac{m \cdot r^2 \cdot R}{2 \cdot K_{\omega} \cdot K_M \cdot i^2}$ ,

$$K'_v = \frac{r}{2 \cdot K_{\omega} \cdot i}, \quad T_{\Omega} = \frac{2Jr^2R}{K_{\omega}K_Mi^2B^2}, \quad K_{\Omega} = \frac{r}{K_{\omega}iB},$$

$$K_{fv} = \frac{r^2R}{2K_{\omega}K_Mi^2}, \quad K_{f\Omega} = \frac{2r^2R}{2K_Mi^2B^2}.$$

С учетом указанной систему уравнений (10) можно записать в виде:

$$\begin{cases} T_v \cdot \dot{v} + v = K'_v \cdot (U_{np} + U_{\omega}) - K_{fv} \cdot F_{ck} \\ T_{\Omega} \cdot \dot{\omega} + \omega = K'_{\Omega} \cdot (U_{np} - U_{\omega}) - K_{f\Omega} \cdot M_c \end{cases} \quad (11)$$

Управляющие напряжения  $U_{np}$  и  $U_{\omega}$ , подаваемых на приводы ведущих колес (правого и левого соответственно), формируется как:

$$\begin{cases} U_{np} = U_{лин} + U_{\omega} \\ U_{\omega} = U_{лин} - U_{\omega} \end{cases} \quad (12)$$

где:  $U_{лин}$  – напряжение, обеспечивает линейную скорость перемещения робота,  $U_{\omega}$  – напряжение, управляющая угловой скоростью движения робота.

Учитывая (12) система (11) принимает вид:

$$\begin{cases} T_v \cdot \dot{v} + v = K_v \cdot U_{лин} - K_{fv} \cdot F_{ck} \\ T_{\Omega} \cdot \dot{\omega} + \omega = K_{\Omega} \cdot U_{\omega} - K_{f\Omega} \cdot M_c \end{cases} \quad (13)$$

где:  $K_v = 2K'_v$ ,  $K_{\Omega} = 2K'_{\Omega}$ .

В полученной системе уравнений силу сопротивления качению  $F_{ck}$  и момент сопротивления повороту  $M_c$  можно рассматривать как возмущающие действия, а коэффициенты  $K_{fv}$  и  $K_{f\Omega}$  как коэффициенты передачи по возмущающего действия [5].

Сила сопротивления качению определяется как:

$$F_{ck} = f \cdot m \cdot g, \quad (14)$$

где:  $f$  – коэффициент трения качения,  $g$  – ускорение свободного падения. В большинстве случаев при моделировании движения робота значением силы сопротивления качению можно пренебречь из-за малых значение  $f$  и  $K_{fv}$ .

При выполнении маневров для объезда препятствий в условиях ограниченного пространства более существенное влияние имеет возмущающая действие  $M_c$  (особенно при движении робота по нелинейным траекториям). Для роботов с неповоротными ведущими колесами используют выражение для гусеничных платформ [6]:

$$M_c = \frac{\mu \cdot m \cdot g \cdot L}{4}, \quad (15)$$

где:  $\mu$  – коэффициент сопротивления повороту, который зависит от радиуса поворота,  $L$  – длина следа колеса.

Коэффициент сопротивления повороту рассчитывается по эмпирической формуле, которая была получена А.А. Никитиным, основываясь на большом количестве опытов [7]:

$$\mu = \frac{\mu_{max}}{c + (1-c) \cdot \frac{R_n}{2 \cdot l}}, \quad (16)$$

где:  $R_n$  – радиус поворота для забегавшего колеса;  $c$  – эмпирический коэффициент, принимаемый в расчетах равным в среднем 0,85;  $\mu_{max}$  – максимальный коэффициент сопротивления поворота, который зависит от свойств поверхности.

С увеличением радиуса поворота  $R_n$  момент сопротивления повороту значительно уменьшается, о чем свидетельствует выражение (15). Таким образом получено описание основных сил и моментов, влияющих на движение платформы робота.

Заменяя в выражении (13) производные оператором Лапласа  $s$  и учитывая характер влияния  $F_{ck}$  и  $M_c$ , математическую модель динамики движения платформы робота можно выразить в виде имитационной модели (рис. 2), выполненная в среде Matlab Simulink.

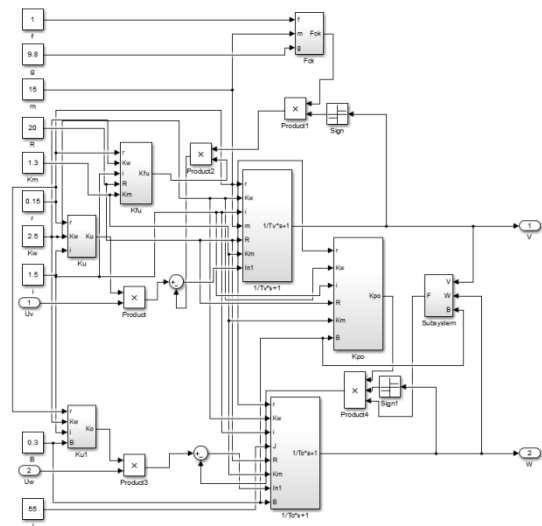


Рис. 2. Имитационная модель динамики движения робота

Fig. 2. A simulation model of the dynamics of the robot

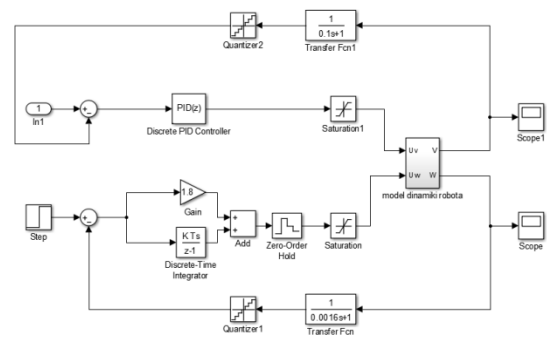


Рис. 3. Имитационная модель цифровой подсистемы управления исполнительного уровня, выполненная в среде Matlab Simulink

Fig. 3. Simulation model digital control subsystem executive level, made in an environment Matlab Simulink

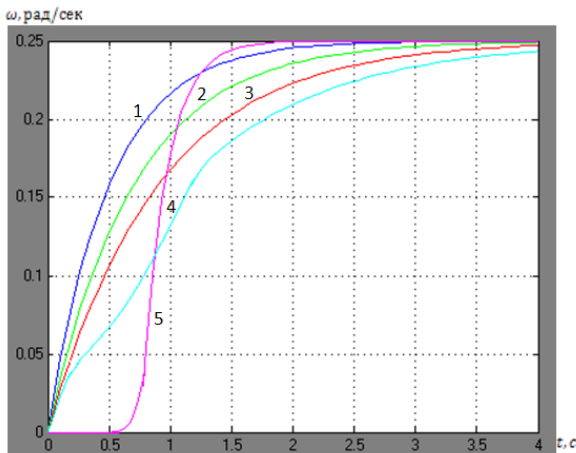
Модель динамики движения является двух-канальной линейной (канал линейной скорости и канал угловой скорости) с нелинейной зависимостью возмущения (момента сопротивления повороту), действующий для канала угловой скорости. Коэффициенты модели соответствуют реальным измеренным показателям робота, а их обозначения - обозначением в выражениях (9, 10, 12, 13).

Для оценки качества управления используем время переходного процесса  $t_{n.n.}$  и перерегулирования  $\sigma$ . Для выбора типа регулятора и его настроек могут быть использованы различные алгоритмы с определением критериев максимальной устойчивости, интегральной квадратичной качества [16], и т.д.

Для получения заданного характера переходного процесса в канале управления угловой скоростью выбран ПИ-закон управления. Тогда, структурную схему цифровой управляющей подсистемы исполнительного уровня можно представить на (рис. 3).

На рисунке представлено подключение имитационной модели динамики движения к цифровым ПИ регуляторам линейной и угловой скоростей соответственно, и обратные связи с помощью передаточных функций инкрементальных энкодеров.

На рис. 4 и 5 представлены графики переходного процесса для канала управления угловой скоростью при изменении управляющего воздействия для преодоления  $M_c$ , который определяется по выражению 13.



**Рис. 4.** Переходный процесс для канала управления угловой скоростью поворота при различных линейных скоростях движения центра масс робота

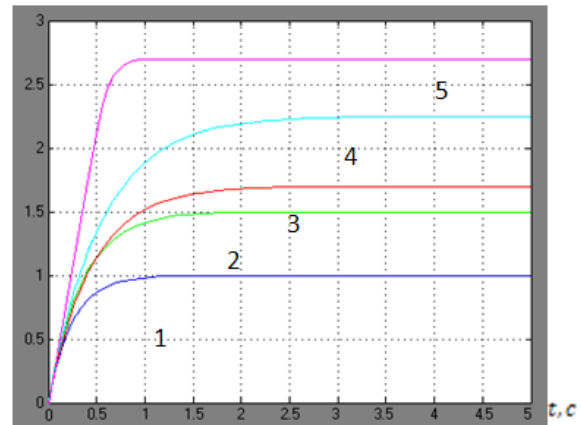
**Fig. 4.** The transition process for the control channel angular velocity of rotation at different linear velocities of the center of mass of the robot

Из приведенного графика видно, что время переходного процесса при изменении радиуса поворота меняется незначительно. Но с уменьшением радиуса поворота, или при увеличении линейной скорости (графики 1-3) возникает отклонение переходного процесса от желаемого, что вызвано необходимостью преодоления момента сопротивления повороту. Для радиуса разворота меньше 0,2 м. (График 4) характерно возникновение точки перегиба, после которой переходный процесс соответствует желаемому. При развороте на месте (график 5), когда мо-

мент сопротивления повороту достигает пика, наблюдается запаздывание переходного процесса после которого быстрый выход на заданное значение угловой скорости.

Когда момент сопротивления преодолен график изменения управляющего воздействия становится близким к желаемому, как и в случаях 1-4.

U, В



**Рис. 5.** Управляющее воздействие для канала управления угловой скоростью поворота робота при различных линейных скоростях движения центра масс робота (1 –  $v = 0,5$  м/с (радиус поворота – 1,3 м), 2 –  $v = 0,25$  м/с (радиус поворота – 0,8 м), 3 –  $v = 0,1$  м/с (радиус поворота – 0,4 м), 4 –  $v = 0,05$  м/с (радиус поворота 0,2 м), 5 –  $v = 0$  м/с, (разворот))

**Fig. 5.** The control action for the control channel angular velocity of rotation of the robot in various linear velocity of the center of mass of the robot (1 –  $v = 0,5$  m/s (the turning radius – 1,3 m); 2 –  $v = 0,25$  m/s (the turning radius – 0,8 m); 3 –  $v = 0,1$  m/s (the radius of rotation of 0,4 m); 4 –  $v = 0,05$  m/s (turning radius of 0,2 m); 5 m/s = 0 m/s (spread))

Из рис. 5 ( $v = 0,5$  м/с (радиус поворота – 1,3 м),  $v = 0,25$  м/с (радиус поворота – 0,8 м),  $v = 0,1$  м/с (радиус поворота – 0,4 м),  $v = 0,05$  м/с (радиус поворота 0,2 м),  $v = 0$  м/с, (разворот)) видим накопления линейной составляющей сигнала управления скоростью до точки пока не преодолен момент сопротивления повороту (график 5 - прямой отрезок).

Для дальнейшего использования построенной модели в создании программного обеспечения робота необходимо провести проверку ее на адекватность. При этом необходимо сравнить результаты расчета по модели и экспериментальные измерения угловой скорости робота при его движении на реальной поверхности. Так как изменение угловой скорости зависит от режима движения робота поэтому необходимо испытать модель как минимум в 2-х режимах: при значении  $v = 0,5$  м/с (радиус поворота – 1,3 м), который является основным режимом движения при перемещении в теплице при отсутствии препятствий и при значении  $v = 0$  м/с, разворот робота на месте при появлении препятствия впереди.

Для измерения скорости вращения колес робота использованы инкрементальные энкодеры, фик-

сирующие изменение положения колеса относительно зафиксированного датчика (рис. 6).

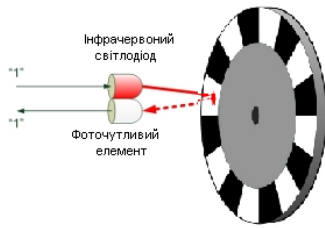


Рис. 6. Измерение угловой скорости с помощью инкрементального энкодера

Fig. 6. The measurement of the angular velocity using incremental encoder

Измерив реальное изменение угловой скорости робота во времени, в двух режимах линейной скорости сравниваем полученные значения с соответствующими значениями полученными путем расчета по модели (табл. 1).

Таблица 1. Сравнение значений угловой скорости робота полученной экспериментально и по модели

Table 1. Comparison of the angular velocity of the robot obtained experimentally and by model

Время измерения, сек.	Первый опыт (при $v = 0,5$ м/с)		Второй опыт (при $v = 0$ м/с)	
	Экспериментальные данные, рад/с	Данные по модели, рад/с	Экспериментальные данные, рад/с	Данные по модели, рад/с
0	0	0	0	0
0.13	0.027	0.0295	0	0
0.325	0.064	0.695	0	0
0.525	0.095	0.102	0.035	0.03
0.725	0.121	0.129	0.170	0.159
0.925	0.142	0.152	0.219	0.208
1.125	0.16	0.168	0.244	0.238
1.325	0.175	0.183	0.246	0.240
1.525	0.188	0.195	0.248	0.246
...	...	...	...	...
6.54	0.25	0.25	0.25	0.25

Основываясь на данных табл. 1 можно построить графики изменения угловой скорости во времени двух режимах: 1)  $v = 0,5$  м/с (радиус поворота – 1.3 м); 2)  $v = 0$  м/с, (разворот) (рис. 7.).

Для оценки адекватности разработанной математической модели, применялись следующие показатели:

Среднее значение всех измерений в опыте (16):

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^{20} Y_i}{n}, \quad (17)$$

где:  $n$  – количество наблюдений;  $i$  – номер наблюдения.

Дисперсия воспроизведения:

$$S_{vid} = \frac{\sum_{i=1}^{20} (Y_i - \bar{Y})^2}{n_0 - 1}, \quad (18)$$

где:  $n_0 - 1$  – число степеней свободы, равное числу опытов минус единица.

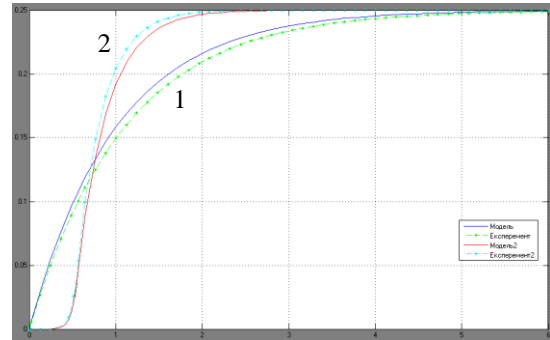


Рис. 7. Сравнение результатов расчетов угловой скорости по модели и экспериментальных данных.

Fig. 7. Comparing results of calculations of the angular velocity model and experimental data.

В расчетах величину доверительной вероятности принимали  $P = 0.95$ , соответствующей ошибке в пределах  $\pm 3S$ . Разработанную математическую модель проверяли на адекватность по критерию Фишера, для этого определяли дисперсию адекватности:

$$S_{Ad}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\bar{Y}_{iE} - Y_T)^2}{f}, \quad (19)$$

где:  $f$  – число степеней свободы дисперсии адекватности;  $\bar{Y}_{iE}$  – среднее значение отклика в  $i$ -м опыте;  $Y_T$  – значения отклика в  $i$ -й точке, вычисленное по модели;

$$F = S_{ad}^2 / S_{vid}^2. \quad (20)$$

Расчитано по выражению (20) значение критерия Фишера меньше критического  $F_p < F_m = 5$ , что говорит об адекватности модели. Погрешность модели составляет не более 5% от общего показателя угловой скорости робота.

## ВЫВОДЫ

1. Разработана математическая модель движения тепличного робота и обоснована возможность его использования при создании системы управления таким роботом. При этом сделаны следующие предположения: движение робота осуществляется в горизонтальной плоскости; механизм работа абсолютно жестким; отсутствует проскальзывание.

2. Анализируя результаты моделирования выявлено нелинейный характер влияния момента сопротивления повороту на переходный процесс изменения угловой скорости робота, учитывая, что с увеличением радиуса поворота влияние момента сопротивления уменьшается, поэтому модель нельзя аппроксимировать аperiодическим звеном первого порядка, не потеряв при этом необходимую для

практического использования точность моделирования.

3. Модель прошла проверку на адекватность путем сравнения полученных данных с экспериментальными по методу Фишера. Значение рассчитанной погрешности не превышает 5% от общей угловой скорости работа, подтверждает адекватность модели и удовлетворяет технологическим требованиям.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Бурдаков С.Ф., Мирошник И.В., Стельмаков Р.Э. 2001.** Системы управления колесных роботов. – СПб: Наука. 227.
2. **Зенкевич С.Л., Назарова А.В. 2006.** Система управления мобильного робота // Вестник МГТУ. серия «Приборостроение», №3. – 31-51.
3. **СвеЛиннХтуАунг. 2011.** Навигация и управление движением мобильного робота в городских условиях / автореф. канд. техн. наук. – М. 16.
4. **Мартыненко Ю.Г. 2005.** Управление движением мобильных колесных роботов // Фундаментальная и прикладная математика, Т. 11. – №8. 29-80.
5. **Ганькин Ю.А. 1975.** Системы автоматического вождения машинно-тракторных агрегатов. – М.: МАМИ. – 74.
6. **Трояновская И.П. 2010.** О формировании реакций в контакте колеса с фунтом на повороте // Автомобиле- и тракторостроение: приоритеты развития и подготовка кадров материалы 66-й международной науч. конф. АИИ. – М.: МАМИ. – 17-32.
7. **Никитин, А.О. 1975.** К вопросу исследования касательных реакций грунта, действующих на гусеничный движитель в процессе поворота машины/ А.О. Никитин, А.Б. Коняев, В.В. Павлов // сб. науч. тр. МАДИ. – М., вып. 109. – 71-80.
8. **Sezgin Uzun. 2007.** The Effect of Temperature and Mean Cumulative Daily Light Intensity on Fruiting Behavior of Greenhouse-grown Tomato: [Елек-трон. ресурс]. The University of OndokuzMayıs, Faculty of Agriculture, Department of Horticulture. 132(4). – p. 459–466. – Режим доступа: до журн.: <<http://journal.ashspublications.org/content/132/4/459.full.pdf>>.
9. **Igor Bolbot. 2013.** Mathematical model influence of thermal regime on growth and yield of tomato plants in system of soil-plant-air: [Елек-трон. ресурс]. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. 15. – 153-158.
10. **Евстигнеев Д.В. 2010.** Моделирование роботов и транспортных средств [Электронный ресурс] // URL: <<http://dynsofL.ru/mrmodeling.php>>.
11. **Литинский С.А. 1966.** Автоматизация вождения самоходных машин (автоводители). М. – Л.: Энергия, – 144.
12. **Опрышко А. 2012.** Робототехнические системы для городских тепличных хозяйств / А. Опышко, Н. Пасичник // Motrol, Lublin. Tom 14. №3. – 222–223.
13. **Тарасов В.Б., Калуцкая А.П. 2010.** Моделирование взаимодействия робота с внешней средой на основе пространственных логик и распространения ограничений // Программные продукты и системы. № 2. – 16-17.
14. **Градецкий В.Г. 2001.** Управляемое движение мобильных роботов по произвольно-ориентированному в пространстве поверхностям. – М.: Наука. Гл. 3. – 96-171.
15. **Юревич Е.И. 2005.** Основы робототехники: 2 изд. перераб. и доп. СПб: БХВ-Петербург. 416.
16. **Гудвин Г.К., Гребе С.Ф., 2004.** Сольгадо М.Э. Проектирование системуправления. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний. – 911.
17. **Забавников Н.А. 1975.** Основы теории тракторных гусеничных машин. М. Машиностроение, – 320.
18. **Матюхин В.И. 2009.** Управление механическими системами. М.: Физматлит, – 320.
19. **Зенкевич С.Л., Назарова А.В. 2006.** Система управления мобильного робота // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Приборостроение. №3. 31-51.
20. **Батанов А.Ф., Грицынин С.Н., Муркин С.В. 1999.** Робототехнические комплексы для обеспечения специальных операций // Специальная техника. №6. – 35-37

#### MATHEMATICAL MODEL OF DYNAMICS OF MOVEMENT OF ROBOTIC SYSTEMS ELECTRICAL PHYTOMONITORING IN THE GREENHOUSE

**Summary.** To navigate the complex electrical phytomonitoring robotic space technology guide is a greenhouse is necessary to consider the impact of various disturbances on the angular velocity (the properties of the floor covering, obstacles). The study of the nature of complex robotic movement of electrical phytomonitoring (the robot) in a greenhouse maneuvering and arrival points in the process guides that requires constant angular velocity control setting in the presence of various disturbances. Based on these requirements is justified to create a model of the robot, which is able to take into account the linear and angular velocity, as well as the moments of resistance turns when maneuvering. The model is implemented in an environment Matlab Simulink, transient response received on channels of linear and angular velocities at various control actions. It identified non-linear nature of the impact of the steering force on transients. Values obtained by the model are compared to the actual, as measured on a prototype of the robot using incremental encoders. Comparison of these data makes it possible to speak about the adequacy of the resulting model.

**Key words:** model of the dynamics of the robot, greenhouse, angular velocity, linear velocity.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗДАВЛИВАНИЯ СЕМЯН МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР

**Виктор Шевчук**

*Львовский национальный аграрный университет  
Ул. В. Великого 1, Дубляны, Украина. E-mail: shevtyk@meta.ua*

**Viktor Shevchuk**

*Lviv National Agrarian University  
St. Vladimir the Great 1, Dubliany, Ukraine. E-mail: shevtyk@meta.ua*

**Аннотация.** Разработаны модели, описывающие условия сжатия и раздавливания семян эллипсоидной формы, и получены зависимости от силы сжатия таких параметров, как деформация семян и максимальное давление на них. Исходя из полученных зависимостей, значение силы  $P_{с.р}$  разрушения семян составляет 23,5 Н; деформация разрушения  $\Delta_{н.р}$  0,295 мм. Давление  $q_{о.р}$ , при котором происходит разрушение эллипсоидных семян 33,38 Н/мм<sup>2</sup>.

Полученные теоретические зависимости позволяют рационализировать режимы работы машин для раздавливания семян перед отжимом масла, обеспечивая дальнейшим максимальный выход масла при минимальных энергозатратах, в частности, позволяют установить необходимый зазор между валками, при котором происходит раздавливания семян, но отсутствует появление масла на их поверхности.

**Ключевые слова:** плющилка семян, масличные культуры, устройство для исследования семян на сжатие, усилие разрушения, деформация разрушения, деформация масловыделения, зазор, частота вращения, диаметр валков.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Измельчения семян – одна из основных технологических операций процесса получения масла, от которой зависят его выход и качество [2, 3, 13-22]. Проблема совершенствования машин для раздавливания ядра масличных культур и создание технологических линий малой производительности приобретает для Украины существенного значения и актуальности, поскольку современные способы и средства раздавливания семян недостаточно эффективны и требуют дальнейшего исследования и совершенствования [1].

Согласно исследованиям Я.Н. Куприца и С.Д. Хусида процесс измельчения разделяется на три фазы [3; 4]:

- упругая деформация, которая протекает с начала действия приложенной силы на измельчаемый материал до достижения предела упругости и сопровождается уплотнением и сжатием структурных агрегатов семян;

- пластическая деформация, наступает с момента начала сдвига отдельных элементов материала относительно друг друга и характеризуется относительным смещением структурных агрегатов ядра

семян, в результате чего материал уплотняется и плющится;

- разрушение материала с образованием свободной поверхности частиц.

Теоретическому обоснованию подлежит основной параметр процесса плющения семян – нормальное давление  $q$ , что приводит к деформации, при которой давление на семена превышает их предел прочности, но отсутствует появление масла на поверхности раскрытых семян. Это предотвращает потери масла и загрязнения валков, особенно, высыхающими маслами.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Анализируя теоретические исследования процесса измельчения семян масличных культур перед отжимом масла [2, 3, 13-22], стоит отметить, что известные исследования направлены на определение: условия захвата семян между валками; диаметра валков; давления, необходимого для измельчения семян. Однако, отсутствуют математические исследования раздавливания эллипсоидных семян масличных культур. Эти исследования, в дальнейшем позволят рационализировать режимы работы машины для раздавливания семян перед отжимом масла, тем самым обеспечивая максимальный выход масла при минимальных энергозатратах. В частности, позволяют установить необходимый зазор между валками, при котором происходит раздавливания семян, но отсутствует появление масла на их поверхности.

Поэтому, возникает необходимость установить математическую модель раздавливания эллипсоидных семян масличных культур.

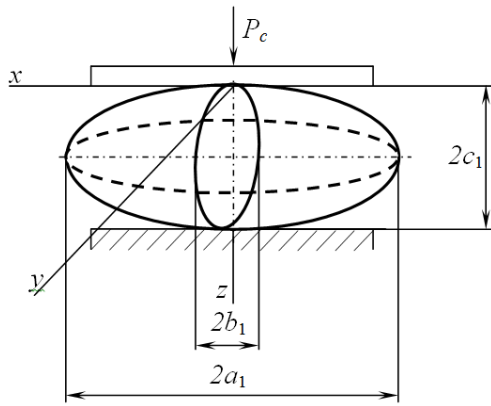
### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Получить математическую модель раздавливания семян масличных культур, а также зависимости от силы  $P_c$  сжатия семян таких параметров, как деформация  $\Delta_n = f_1(P_c)$ , максимальное давление  $q_o = f_2(P_c)$  и полуоси плоскости контакта  $a, b = f_3(P_c)$ .

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Предположим, что семя льна (рис. 1) находится между двумя стальными пластинами, нижняя из ко-

торых неподвижна, а на верхнюю, подвижную, действует сила  $P_c$ .



**Рис. 1.** Схема нагрузки эллипсоидной семени  
**Fig. 1.** Scheme of load of ellipsoidal seed

Семя льна имеет форму эллипсоида с полуосями  $a_1, b_1, c_1$  (причем  $a_1 \geq b_1 \geq c_1$ ). Если начало системы координат выбрать в точке контакта, то уравнение поверхности эллипсоида у этой точки можно представить в виде:

$$z = Ax^2 + By^2, \quad (1)$$

$$\text{где: } A = \frac{c_1}{2a_1^2}, \quad B = \frac{c_1}{2b_1^2}.$$

Под действием силы  $P_c$  между пластинами и эллипсоидом возникают плоскости контакта, которые имеют форму эллипса с полуосями  $a$  и  $b$ .

Согласно теории Герца [5] на плоскости контакта возникает давление, которое распределяется по закону:

$$q(x, y) = q_o \sqrt{1 - \frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2}}, \quad (2)$$

где:  $q_o$  – максимальное значение давления в центре плоскости контакта.

$$\begin{cases} Aa^2 = (k_1 + k_2) \frac{3P}{4} \left( \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{\sqrt{a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi}} - \frac{2}{\pi} \int_0^1 d\varphi \int_0^1 \frac{\sqrt{1-\rho^2} \rho d\rho}{\sqrt{a^2(\rho \cos \varphi - 1)^2 + \rho^2 b^2 \sin^2 \varphi}} \right); \\ Bb^2 = (k_1 + k_2) \frac{3P}{4} \left( \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{\sqrt{a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi}} - \frac{2}{\pi} \int_0^1 d\varphi \int_0^1 \frac{\sqrt{1-\rho^2} \rho d\rho}{\sqrt{\rho^2 a^2 \cos^2 \varphi + b^2(\rho \sin \varphi - 1)^2}} \right). \end{cases} \quad (8)$$

Подадим  $a$  и  $b$  в виде:

$$\begin{cases} a = m \cdot \sqrt[3]{\frac{3\pi P(k_1 + k_2)}{4(A+B)}}; \\ b = n \cdot \sqrt[3]{\frac{3\pi P(k_1 + k_2)}{4(A+B)}}. \end{cases} \quad (9)$$

Подставив (9) в (8), получим систему нелинейных уравнений относительно коэффициентов  $m$  и  $n$ :

$$\begin{cases} m^2 = \frac{A+B}{\pi A} \left( \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{\sqrt{m^2 \cos^2 \varphi + n^2 \sin^2 \varphi}} - \frac{2}{\pi} \int_0^1 d\varphi \int_0^1 \frac{\sqrt{1-\rho^2} \rho d\rho}{\sqrt{m^2(\rho \cos \varphi - 1)^2 + \rho^2 n^2 \sin^2 \varphi}} \right); \\ n^2 = \frac{A+B}{\pi B} \left( \frac{1}{2} \int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{\sqrt{m^2 \cos^2 \varphi + n^2 \sin^2 \varphi}} - \frac{2}{\pi} \int_0^1 d\varphi \int_0^1 \frac{\sqrt{1-\rho^2} \rho \cdot d\rho}{\sqrt{\rho^2 m^2 \cos^2 \varphi + n^2(\rho \sin \varphi - 1)^2}} \right). \end{cases} \quad (10)$$

Значение  $q_o$  можно найти из уравнения равновесия:

$$P = \iint_{A_o} q(x, y) dx \cdot dy, \quad (3)$$

где:  $A_o$  – площадь участка контакта.

Интеграл (3) легко вычислить, сделав замену переменных:  $x = a\rho \cos \varphi$ ,  $y = b\rho \sin \varphi$ ,  $dx dy = ab\rho d\rho d\varphi$ , где  $0 \leq \varphi \leq 2\pi$ ,  $0 \leq \rho \leq 1$ .

Тогда:

$$\begin{aligned} P &= q_o a \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^1 \rho \sqrt{1-\rho^2} d\rho = \\ &= q_o ab \int_0^{2\pi} \left( -\frac{1}{2} \frac{3}{2} (1-\rho^2)^{\frac{3}{2}} \right) = q_o ab 2\pi \frac{1}{3}, \end{aligned} \quad (4)$$

или:

$$q_o = \frac{3}{2} \frac{P}{\pi ab}. \quad (5)$$

Согласно теории Герца [5] для произвольной точки плоскости контакта должен выполняться равенство:

$$(k_1 + k_2) \iint_{A_o} \frac{q(\xi, \eta) d\xi d\eta}{\sqrt{(\xi-x)^2 + (\eta-y)^2}} = \Delta_n - Ax^2 - By^2; \quad x, y \in A_o \quad (6)$$

где:  $\Delta_n$  – сближение пластин, или деформация семян, имеющих форму эллипсоида;  $k_1, k_2$  – соответственно характеристики семян масличных культур и материала пластины,  $\text{мм}^2/\text{Н}$ .

Подставив в уравнение (6)  $x = 0, y = 0$ , учитывая (5) и сделав замену переменных, получим формулу для нахождения  $\Delta_n$ :

$$\Delta_n = (k_1 + k_2) \frac{3P}{4} \int_0^\pi \frac{d\varphi}{\sqrt{a^2 \cos^2 \varphi + b^2 \sin^2 \varphi}}. \quad (7)$$

Далее подставим в уравнение (6) один раз  $x = a, y = 0$ , а второй –  $x = 0, y = b$ , в результате получим систему уравнений:



Эта система уравнений решается при таких геометрических параметрах семян:  $a_1 = 2,22$  мм;  $b_1 = 1,13$  мм;  $c_1 = 0,46$  мм [23, 24].

Решив систему уравнений (10), получим следующие значения коэффициентов:  $m = 1,2250$ ,  $n = 0,8234$ ,  $s = 3,0976$ , где  $s$  выражается через полный эллиптический интеграл:

$$s = \frac{2}{m} \int_0^{2\pi} \frac{d\varphi}{\sqrt{1 - \frac{m^2 - n^2}{m^2} \sin^2 \varphi}}. \quad (11)$$

Тогда, учитывая (9) и полученные значения коэффициентов, формула (7) будет иметь вид:

$$\Delta_n = s^3 \sqrt{\frac{9(A+B) \cdot P^2 \cdot (k_1 + k_2)}{16\pi}}. \quad (12)$$

Отсюда получим:

$$k_1 = \frac{4}{3P} \sqrt{\frac{\pi}{A+B} \left(\frac{\Delta}{s}\right)^3} - k_2, \quad (13)$$

а потом можно найти и модуль Юнга  $E_n$  для семян льна:

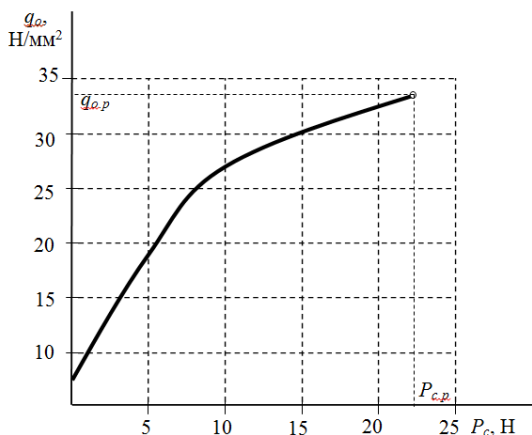
$$E_n = \frac{1 - \mu_1^2}{\pi \cdot k_1}. \quad (14)$$

Учитывая систему уравнений (9), можно записать конечную формулу для определения максимального давления:

$$q_o = \frac{3}{2\pi m} \sqrt[3]{\frac{16(A+B)^2 P}{9\pi^2 (k_1 + k_2)^2}}. \quad (15)$$

Решив уравнение (12), (15) численным методом и реализовав их в среде MATLAB 7.11.0, получено теоретические зависимости от силы  $P_c$  сжатия семян таких параметров, как деформация  $\Delta_n = f_1(P_c)$ , максимальное давление  $q_o = f_2(P_c)$  и полуоси плоскости контакта  $a, b = f_3(P_c)$ .

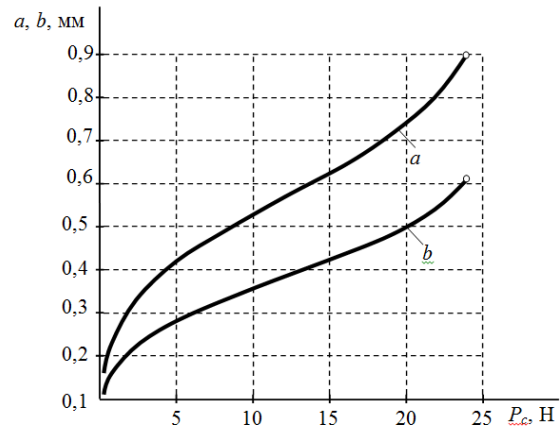
На рис. 2. приведена теоретическая зависимость давления в центре плоскости контакта  $q_o$  от силы сжатия  $P_c$  семян льна масличного.



**Рис. 2.** Зависимость давления в центре плоскости контакта  $q_o$  от силы сжатия  $P_c$  семян льна масличного

**Fig. 2.** The dependence of the pressure in the center of the  $q_o$  contact plane from the  $P_c$  compression force of linseed seed

Крайняя правая точка кривой (рис. 2.) соответствует значению давления, при котором происходит раздавливания семян. Для льна масличного давление раздавливания  $q_{o,p}$  составляет 33,38 Н/мм<sup>2</sup>, что соответствует силе  $P_{c,p}$  сжатия 23,5 Н.

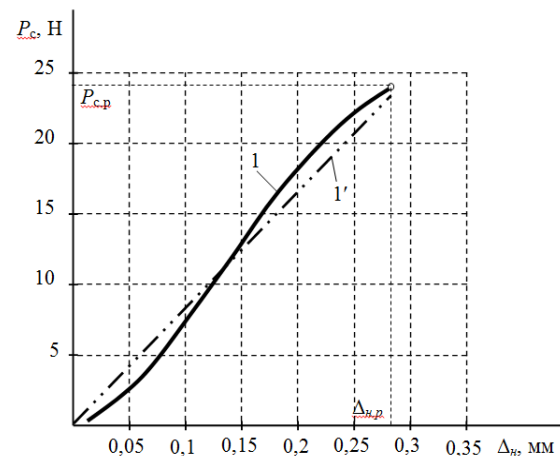


**Рис. 3.** Зависимости значений полуосей  $a$  и  $b$  плоскости контакта от силы сжатия  $P_c$  семян льна масличного

**Fig. 3.** The dependences of  $a$  and  $b$  semiaxes values of the contact plane from the  $P_c$  compression force of linseed seed

Кривые  $a$  и  $b$  (рис. 3) отражают зависимость от силы сжатия  $P_c$  семян, имеющих форму эллипсоида, таких параметров, как полуоси плоскости контакта семян. Согласно условию раздавливания для льна масличного значения  $a$  и  $b$  составляет 0,89 и 0,6 мм.

На рис. 4 указана теоретическая зависимость силы сжатия  $P_c$  от деформации  $\Delta_n$  семян, которые имеют форму эллипсоида, а именно – льна масличного.



**Рис. 4.** Зависимость (1) силы сжатия  $P_c$  от деформации  $\Delta_n$  семян льна масличного; (1' – линейризована зависимость)

**Fig. 4.** The dependence (1) of the  $P_c$  compression force from the  $\Delta_n$  deformation of seed of linseed (1' – linearized dependence)

Зависимость (рис. 4) позволяет определить влияние деформации, при которой давление на

семена превышает их предел прочности, что в свою очередь приводит к раздавливанию семян.

Деформация раздавливания семян льна масличного составляет 0,295 мм и соответствует силе 23,5 Н.

Полученные теоретические зависимости позволяют рационализировать режимы работы машины для раздавливания семян перед отжимом масла, обеспечивая дальнейшим максимальный выход масла при минимальных энергозатратах, в частности, позволяют установить необходимый зазор между валками, при котором происходит раздавливание семян, но отсутствует появление масла на их поверхности.

#### ВЫВОДЫ

1. Решив уравнение (12-15) численным методом и реализовав их в программе MATLAB 7.11.0, получена модель процесса деформирования эллипсоидных семян, а также зависимости от силы  $P_c$  сжатия семян таких параметров, как деформация  $\Delta_n = f_1(P_c)$ , максимальное давление  $q_o = f_2(P_c)$  и полуоси плоскости контакта  $a, b = f_3(P_c)$ .

2. Получены значения деформации, максимального давления и полуосей плоскости контакта семян масличных культур при сжатии, позволяют рационализировать режимы работы машины для разрушения семян перед отжимом масла, обеспечивая максимальный выход масла при минимальных энергозатратах.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Белобородов В.В. 1966.** Основные процессы производства растительных масел / В.В. Белобородов. – М.: Пищевая промышленность. – 475.
2. **Масликов В.А. 1965.** Поведение подсолнечного ядра при разрушении / В.А. Масликов, В.С. Сескутов // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – №4 1965. 85-89.
3. **Хусид С.Д. 1958.** Измельчение зерна. / С.Д. Хусид. – М.: Хлебоиздат. – 450.
4. **Куприц Я.Н. 1946.** Физико-химические основы размола зерна. / Я.Н. Куприц. – М.: Заготиздат – 206.
5. **Тимошенко С.П. 1975.** Теория упругости / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер. – М.: Из-во «Наука». – 575.
6. **Медведовский А.К. 1988.** Энергетический анализ интенсивных технологий в сельскохозяйственном производстве. / А.К. Медведовский, П.И. Иваненко. – К.: Урожай. – 208. (Украина).
7. **Одегов В.А. 2005.** Обоснование параметров и режимов работы плющилки влажного зерна: Диссертация. – Киров. – 187.
8. **Патент 47045, МПК (2009) B02B 3/00.** Плющилка семян масличных культур / Р.С. Шевчук, В.В. Шевчук. – № u200908648; заявка 17.09.2009; опубл. 11.01.2010, Бюл.№1. (Украина).
9. **Патент 46649, МПК (2009) B02B 3/00.** Валковая дробилка / Р.С. Шевчук, В.В. Шевчук. – № u200910148; заявка 06.10.2009; опубл. 11.05.2010, Бюл.№9. (Украина).
10. Ученые Львовского национального аграрного университета производству: каталог инновационных разработок ЛНАУ / Под. ред. В.В. Снитинского, В.И. Лопушняка. Вып. 11. – Львов: Львов. нац. аграр. ун-т, 2011. – 29. (Украина).
11. **Патент 46649, МПК (2009) B30B 9/12.** Шнековый пресс для отжима масла / Р.С. Шевчук, В.В. Томьук. – № u200800120; заявка 02.01.2008; опубл. 10.04.2008, Бюл.№7. (Украина).
12. Ученые Львовского национального аграрного университета производству: каталог инновационных разработок ЛНАУ / Под. ред. В.В. Снитинского, В.И. Лопушняка. Вып. 11. – Львов: Львов. нац. аграр. ун-т, 2011. – 26. (Украина).
13. **Масликов В.А. 1974.** Технологическое оборудование производства растительных масел. / В.А. Масликов. – М.: Пищ. Промышленность. – 220.
14. **Голдовский А.М. 1958.** Теоретические основы производства растительных масел. / А.М. Голдовский. – М.: Пищепромиздат. – 446.
15. **Дацишин О.В. 2009.** Технологическое оборудование зерноперерабатывающих и масличных производств: Учеб. пособие / О.В. Дацишин, А.И. Ткачук, О.В. Гвоздев, Ф.Ю. Ялпачик, В.О. Гвоздев. За ред. О.В. Дацишина. – Винница: Новая Книга, – 488. (Украина).
16. **Клуманцев Б.В. 1990.** Дробилки: конструкция и расчет, особенности эксплуатации. / Б.В. Клуманцев, А.И. Косарев. – М.: Машиностроение. – 319.
17. **Гулый И.С. 2001.** Оборудование предприятий пищевой и перерабатывающей промышленности / И.С. Гулый, М.М. Пушанко, Л.А. Орлов и др. – Винница: Новая книга. – 576.
18. **Малежик И.Ф. 2003.** Процессы и аппараты пищевых производств: Учебник / И.Ф. Малежик, П.С. Циганко, П. М. Немирович, А.С. Марценюк. – М.: НУХТ, – 400. (Украина).
19. **Черевко А.И. 2002.** Процессы и аппараты пищевых производств: Учебник / А.И. Черевко, А.М. Поперечного. – Харьков.: Харьк. гос. акад. технол. и орг. питания, – 420. (Украина).
20. **Липатов Н.Н. 1987.** Процессы и аппараты пищевых производств. / Н.Н. Липатов. – М.: Экономика, – 272.
21. **Антипов С.Т. 2001.** Машины и аппараты пищевых производств. Кн.1. / С.Т. Антипов, И.Т. Крестов, А.Н. Остриков, В.А. Панфилов, О.А. Ураков. – М.: Высшая школа, – 703.
22. **Шевчук В.В. 2011.** Энергетическая оценка использования вальцовой плющилки семян масличных культур / В.В. Шевчук // Motrol. Motorization and power industry in agriculture. – Volume 13D. – Lublin – 31–36.
23. **Шевчук В.В. 2011.** Исследование механико-технологических свойств семян масличных культур / В.В. Шевчук // Сельскохозяйственные машины – Вып. 21, том II. – Луцьк: Ред.-изд. отдел ЛНТУ, – 229–237. (Украина).



24. Шевчук Р.С. 2011. Механические свойства семян масличных культур при сжатии / Р.С. Шевчук, В.В. Шевчук // Вестник Львовского национального аграрного университета: Агроинженерный исследования. – №15. –257-264. (Украина).

#### MATHEMATICAL MODEL OF SEEDS CRUSH OF OIL-BEARING CROPS

**Summary.** The models that describe the conditions of compression and crushing of seeds of ellipsoid shape are worked out and dependences of parameters of seeds deformation and maximum pressure on seed from the strength of compression are got. The value of  $P_{c.p.}$  forces of destruction seeds is 23,5 Н; the  $\Delta_{н.р.}$  defor-

mation destruction is 0,295 mm – these parameters are based on the obtained dependencies. The  $q_{o.p.}$  pressure of the failure of ellipsoid seeds is 33,38 Н/мм<sup>2</sup>.

The theoretical dependences allow rationalizing the operational modes of machines for seeds crushing before oil extraction and ensure the maximum output with minimum energy consumption. In particular, theoretical dependences allow setting the desired gap between the rolls, at which the seeds are crushed but the oil are not on the surface yet.

**Key words:** seeds crushing machine, oilseeds, a device for seeds compression research, force of destruction, destruction deformation, oil allotment deformation, gap, roll diameter, speed.



## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СУШКИ ФРУКТОВ В ГЕЛИОСУШИЛКЕ

*Михаил Бабич, Сергей Коробка*

*Львовский национальный аграрный университет  
Вул. В. Великого 1, Дубляны, Украина. E-mail: korobkasv@ukr.net*

*Mykhailo Babych, Sergiy Korobka*

*Lviv National Agrarian University  
St. Vladimir the Great 1, Dubliany, Ukraine. E-mail: korobkasv@ukr.net*

**Аннотация.** В статье рассмотрены особенности методики планирования много-факторного эксперимента, изменения скорости сушки, критической влажности фруктов, коэффициента сушки. Предложена формула (1), для расчета продолжительности сушки фруктов в гелиосушилке, которая зависит от изменения параметров теплоносителя, скорости сушки, критической влажности фруктов, коэффициента сушки, что определяются экспериментальным путем. Составленные уравнения регрессии, с помощью которых рассчитывают зависимости скорости сушки, критической влажности фруктов, коэффициента сушки в области изменении параметров теплоносителя:  $10 \text{ Вт/м}^2 \leq Q \leq 460 \text{ Вт/м}^2$ ;  $20 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_{\text{min}} \leq 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $1 \text{ м/с} \leq v_{\text{min}} \leq 2,5 \text{ м/с}$ .

Установленное количество необходимых экспериментов для нашего случая  $3^3$ . Приведенная матрица планирования эксперимента и результаты эксперимента для функций отклика - скорости сушки, критической влажности, коэффициента сушки в области определения факторов:  $10 \text{ Вт/м}^2 \leq Q \leq 460 \text{ Вт/м}^2$ ;  $20 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_{\text{min}} \leq 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $1 \text{ м/с} \leq v_{\text{min}} \leq 2,5 \text{ м/с}$ . Построены поверхности откликов целевых функций в плоскостях параметров воздействия.

Осуществлено дисперсионный анализ технологического процесса сушки фруктов в гелиосушилке. Рассчитано и проверено оценку адекватности модели по критерию Фишера.

На основе многофакторных исследований обоснованно режимы работы гелиосушилки в области:  $10 \text{ Вт/м}^2 \leq Q \leq 460 \text{ Вт/м}^2$ ;  $20 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_{\text{min}} \leq 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $1 \text{ м/с} \leq v_{\text{min}} \leq 2,5 \text{ м/с}$  в процессе сушки фруктов на качество готового продукта от зависимостей постоянной скорости  $N=16,44\%/ч$ , критической влажности  $W_{\text{кр.}}=310\%$ , коэффициента сушки  $K=6,24 \cdot 10^{-2}$  град.

Осуществлено описание влияния конструктивных параметров, площади воздушного коллектора  $S_{\text{пк}}=1,5 \text{ м}^2$  и массы теплоаккумулирующего материала теплового аккумулятора  $m_{\text{ма}}=50 \text{ кг}$ , на закономерности изменения теплотехнических параметров окружающей среды, температуры окружающей среды  $T_{\text{ис.ср.}} - 16 - 32 \text{ }^\circ\text{C}$ , уровня солнечной активности  $I_{\text{иср.}} - 100 - 824 \text{ Вт/м}^2$  на характеристику продолжительности процесса сушки

фруктов в оценке области, при таких параметрах:  $10 \text{ Вт/м}^2 \leq Q \leq 460 \text{ Вт/м}^2$ ;  $20 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_{\text{min}} \leq 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $1 \text{ м/с} \leq v_{\text{min}} \leq 2,5 \text{ м/с}$ .

**Ключевые слова:** гелиосушилка, критерий оптимизации, фактор, фрукты.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

При расчёте продолжительности сушки фруктов в гелиосушилке возникает проблема, определения неизвестных регрессионных зависимостей скорости сушки, критической влажности фруктов, коэффициента сушки, которые зависят от параметров теплоносителя, что меняется в течение суток.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В литературе отсутствуют результаты теоретических и экспериментальных исследований расчета продолжительности сушки фруктов в гелиосушилке. При определении неизвестных зависимостей регрессии скорости сушки [1, 2], критической влажности фруктов [5], коэффициента сушки [6], что зависят от параметров теплоносителя, который изменяется в течение суток, не используют математические методики планирования многофакторного эксперимента.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При расчёте продолжительности сушки фруктов в гелиосушилке необходимо разработать математические модели на основе планируемого многофакторного эксперимента, которые позволят, определить неизвестные регрессивные зависимости скорости сушки, критической влажности фруктов, коэффициента сушки от параметров теплоносителя, что меняется в течение суток в области:  $10 \text{ Вт/м}^2 \leq Q \leq 460 \text{ Вт/м}^2$ ;  $20 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_{\text{min}} \leq 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $1 \text{ м/с} \leq v_{\text{min}} \leq 2,5 \text{ м/с}$ .

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Основой для расчета продолжительности сушке фруктов в гелиосушилке, использовано уравнение, предложенное А.В. Лыковым [1, 2].

Длительность сушки фруктов в гелиосушилке ( $\tau_{\text{суш}}$ ) состоит из продолжительности сушки в периоде постоянной ( $\tau_1$ ) и спадающей ( $\tau_2$ ) скорости

сушки та продолжительности нагрева фруктового сырья ( $\tau_{наг}$ ), что зависит от конструктивно-технологических параметров гелиосушилки и физических параметров окружающей среды та определяется по формуле:

$$\tau_{суш} = \tau_1 + \tau_2 + \tau_{наг} = \frac{W_n - W_{кр}}{N} + \frac{1}{K} \cdot \ln \left[ \frac{W_{кр} - W_p}{W_k - W_p} \right] + \frac{Q_{\phi} + Q_{наг.р.}}{Q_{кон} - (S_{нк} \cdot I_{нс}) - \sum Q_{отп.} - Q_{та}} \quad (1)$$

где:  $\tau_{суш}$  – общая продолжительность сушки от влажности  $W_n$  к влажности  $W_k$ , ч;  $\tau_1$  – время начала сушки, ч;  $\tau_2$  – время конца сушки, ч;  $\tau_{наг}$  – время нагрева фруктов, ч;  $W_n$  и  $W_k$  – соответственно начальная и конечная влажность фруктов, %;  $W_{кр}$  – критическая влажность фруктов в критической точке процесса сушки, которая определяется экспериментальным путем, %;  $W_p$  – равновесная влажность фруктов, для заданного режима сушки, %;  $N$  – скорость сушки, которая определяется экспериментальным путем, %/год;  $K$  – коэффициент сушки, который определяется экспериментальным путем, град;  $Q_{кон}$  – энергия, которую отдает сушильной камере нагретый теплоноситель, Вт;  $Q_{наг.р.}$  – энергия израсходована на нагрев решёт, кДж;  $Q_{\phi}$  – энергия израсходована на нагрев продукта, кДж;  $Q_{та}$  – энергия, накопленная в тепловом аккумуляторе, Вт;  $Q_{отп.}$  – потери теплоты через корпус гелиосушилки, Вт;  $I_{нс}$  – средняя плотность потока солнечной энергии Вт/м<sup>2</sup>;  $S_{нк}$  – поверхность воздушного коллектора, м<sup>2</sup>.

Для определения неизвестных зависимостей регрессии скорости сушки, критической влажности фруктов, коэффициента сушки, при расчёте продолжительности сушки и обоснования параметров теплоносителя в гелиосушилке можно использовать метод линейного планируемого многофакторного эксперимента [11-14].

Эффективным методом для определения взаимовлияния отдельных параметров является метод линейного планируемого многофакторного эксперимента, обеспечивающий универсальность, возможность, при наличии небольшого объема входной информации, провести исследование и получить достоверные результаты, нет жесткой регламентации по его применению. В зависимости от поставленной цели исследователь выбирает тип эксперимента, который будет положен в основу метода планирования, вид функции отклика, способы оценки полученной информации и т.п. [15-17].

Влияющие факторы могут быть выбраны с помощью многофакторного планируемого эксперимента. Влияющие факторы могут быть выбраны с помощью специальных выборочных экспериментов или на основе многофакторного эксперимента. По результатам таких экспериментов формируется, уровень варьирования факторов. Построение матрицы планирования эксперимента, математической модели и анализ полученных результатов имеют формализованный характер, но где остается возможность для принятия обоснованных решений [18-20].

Планирование эксперимента связано с изучением зависимости критериев оптимизации от величины управляющих параметров. Поэтому, после постановки задачи, общий вид модели объекта исследования упрощается к виду  $y = f(x_1 \dots x_n)$ .

Общее число опытов  $N$  при многофакторном планировании эксперимента определяют из соотношения:

$$N = 2n^k \quad (2)$$

где:  $N$  – общее число различных точек в плане;  $k$  – основное число факторов.

Поскольку факторы процесса сушки неоднородны и имеют разные единицы измерения, приводим их в единую систему вычисления путем перехода от действительных значений факторов в кодированные по формуле:

$$x_i = \frac{z_i - z_{0i}}{\varepsilon} \quad (3)$$

где:  $x_i$  – кодированное значение фактора (безразмерная величина);  $z_i$  и  $z_{0i}$  – натуральные значения фактора (соответственно его текущее значение и значение на нулевом уровне);  $\varepsilon$  – натуральное значение интервала варьирования фактора.

Уравнения математических моделей, были получены в закодированной форме. При замене кодированных значений, факторов абсолютными величинами, позволяет перейти от системы координат в натуральных единицах новой системы в закодированной форме:

$$x_1 = \frac{Q - 256}{156}, \quad x_2 = \frac{T_{шт} - 41,3}{29,3}, \quad x_3 = \frac{g_{шт} - 1,8}{1,2} \quad (4)$$

Чтобы, получить уравнение регрессии с переменными в натуральном масштабе, необходимо подставить  $x_i$  по формуле кодирования, и сделав простые арифметические преобразования в уравнении, математическая модель принимает натуральный вид.

Используя уравнение (4), которое связывает кодированные и именованные значение факторов, для облегчения расчета выбранной линейной модели уравнения регрессии, критерий оптимизации записываем в следующем виде:

$$y = b_0 + \sum_1^k b_i \cdot x_i + \sum_1^k b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_1^k b_{i1} \cdot x_i^2 \quad (5)$$

где:  $y$  – параметр оптимизации;  $k$  – число факторов;  $b_0$  – свободный член, равный отклику при  $x_i=0$ ;  $b_j$  – оценка коэффициента регрессии, соответствующего  $i$ -го фактора;  $b_{ij}$  – оценка коэффициента уравнения регрессии, соответствующего взаимодействию факторов;  $x$  – кодированное значение факторов.

Коэффициенты регрессии рассчитываются по методу наименьших квадратов, используя отношения [12-13, 16]:

$$b_0 = c_1 \cdot \sum_1^n y_u - c_2 \cdot \sum_1^k \cdot \sum_1^n x_{iu} \cdot y_u, \quad (6)$$

$$b_i = c_3 \cdot \sum_1^n x_{iu} \cdot y_u, \quad (7)$$

$$b_{ij} = c_4 \cdot \sum_1^n x_{iu} x_{ju} \cdot y_u, \quad (8)$$

$$b_{ii} = c_5 \sum_1^n x_{iu}^2 y_u - c_6 \sum_1^k + \sum_1^n x_{iu}^2 y_u - c_7 \sum_1^n y_u, \quad (9)$$

где:  $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6, c_7$  – коэффициенты выборки, значения которых приведены в табл. 1.

Для исследования работы гелиосушилки в процессе сушки фруктов основными факторами, были выбраны: тепловой поток, ( $x_1, \text{Вт/м}^2$ ), температура теплоносителя, ( $x_2, \text{°C}$ ), скорость теплоносителя ( $x_3, \text{м/с}$ ). В качестве исходных параметров были выбраны:  $y_1$  – скорость сушки, %/год;  $y_2$  – критическая влажность, %;  $y_3$  – коэффициент сушки, град.

Уровни и интервалы варьирования перечисленных факторов представлены в табл. 2.

Оценка области изменения выбранных факторов проведена по результатам зависимостей скорости сушки ( $N$ ), критической влажности ( $W_{кр.}$ ), коэффициента сушки ( $K$ ) связанных с уровнем солнечной активности и условиями окружающей среды. При этом установлена следующая область определения факторов:  $10 \text{ Вт/м}^2 \leq Q \leq 460 \text{ Вт/м}^2$ ;  $20 \text{ °C} \leq T_{mn} \leq 50 \text{ °C}$ ;  $1 \text{ м/с} \leq v_{mn} \leq 2,5 \text{ м/с}$ .

Для получения математической модели технологического процесса сушки реализован

многофакторный эксперимент  $3^3$ . Составлено матрицу планирования эксперимента для функций отклика - скорости сушки, критической влажности, коэффициента сушки в области определения факторов в кодированных значениях, представленных в табл. 3.

Экспериментальные данные были обработаны на компьютере с помощью программы Mathcad 15 с использованием методики латинских квадратов, что позволяет получить математическую модель планируемого эксперимента, обосновать параметры и режимы работы гелиосушилки по следующим уравнениям [15, 16, 18].

Общий вид линейной модели уравнения регрессии:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2, \quad (10)$$

Математическая модель с тремя сменными для скорости сушки:

$$y_1 = 1,249 + 0,162x_1 + 0,293x_2 + 0,104x_3 + 0,002x_1x_2 - 0,029x_1x_3 + 0,035x_2x_3 - 0,017x_1^2 - 0,112x_2^2 - 0,002x_3^2.$$

Уравнения регрессии скорости сушки в натуральных факторах примет вид:

$$N = 1,249 + 0,162 \cdot Q + 0,293 \cdot T_{mn} + 0,104 \cdot v_{mn} + 0,002 \cdot Q \cdot T_{mn} - 0,029 \cdot Q \cdot v_{mn} + 0,035 \cdot T_{mn} \cdot v_{mn} - 0,017 \cdot Q^2 - 0,112 \cdot T_{mn}^2 - 0,002 \cdot v_{mn}^2. \quad (11)$$

**Таблица 1.** Коэффициенты выборки

**Table 1.** Coefficients of sampling

k	n	Коэффициенты выборки						
		c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	c <sub>3</sub>	c <sub>4</sub>	c <sub>5</sub>	c <sub>6</sub>	c <sub>7</sub>
1	1	0,298	0,133	0,193	0,231	0,173	0,0156	0,112
2	3	0,156	0,025	0,089	0,145	0,069	0,0057	0,0472
3	3	0,129	0,012	0,042	0,089	0,041	0,0028	0,0259

**Таблица 2.** Интервалы и уровни варьирования основных факторов

**Table 2.** Intervals and levels of the main factors

Уровни варьирования факторов	Факторы и их обозначения			Факторы в кодовом виде		
	Тепловой поток Q, Вт/м <sup>2</sup>	Температура теплоносителя T <sub>тн</sub> , °C	Скорость теплоносителя v <sub>тн</sub> , м/с	Тепловой поток x <sub>1</sub> , Вт/м <sup>2</sup>	Температура теплоносителя x <sub>2</sub> , °C	Скорость теплоносителя x <sub>3</sub> , м/с
Нижний	10	20	1	-1	-1	-1
Верхний	460	50	2,5	+1	+1	+1
Основной	230	35	1,5	0	0	0
Интервал варьирования	100	10	0,5	1	1	1

**Таблица 3.** Матрица планирования и результаты эксперимента

**Table 3.** The matrix of planning and experimental results

№ з/п	Кодированные значения факторов									y <sub>1</sub> , %/год	y <sub>2</sub> , %	y <sub>3</sub> , град	y <sub>ср.</sub>	S
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>1</sub> x <sub>2</sub>	x <sub>1</sub> x <sub>3</sub>	x <sub>2</sub> x <sub>3</sub>	x <sub>1</sub> <sup>2</sup>	x <sub>2</sub> <sup>2</sup>	x <sub>3</sub> <sup>2</sup>					
1.	+1	-1	-1	+1	0	0	+1	+1	0	16,795	309,37	0,06054	108,7418	0,00232
2.	+1	+1	-1	+1	0	0	+1	+1	0	17,698	305,18	0,07284	107,6503	0,874653
3.	+1	-1	-1	-1	0	0	+1	+1	0	18,185	308,03	0,09477	108,7699	0,09301
4.	+1	+1	-1	-1	0	0	+1	+1	0	18,478	311,3	0,07284	109,9503	0,43092
5.	-1	-1	+1	0	+1	0	+1	0	+1	18,663	306,5	0,0725	108,4118	-0,72513
6.	-1	+1	+1	0	+1	0	+1	0	+1	19,203	301,2	0,07231	106,8251	0,30173
7.	-1	-1	+1	0	-1	0	+1	0	+1	20,118	330,9	0,04097	117,0197	-0,83199
8.	-1	+1	+1	0	-1	0	+1	0	+1	21,34	305,91	0,07687	109,109	0,177643

Оценка адекватности модели:  $F_{разр} = 0,285$ ;  
 $F_{табл} = 2,5$ ;  $F_{разр} < F_{табл}$  – модель адекватна.

Математическая модель с тремя сменными для критической влажности  $y_2$ :

$$y_2 = 6,269 + 1,142x_1 - 0,084x_2 + 0,171x_3 + 0,003x_1x_2 - 0,138x_1x_3 - 0,047x_2x_3 - 0,083x_1^2 - 0,142x_2^2 - 0,004x_3^2.$$

Уравнения регрессии критической влажности в натуральных факторах примет вид:

$$W_{кр} = 6,269 + 1,142 \cdot Q - 0,084 \cdot T_{mn} + 0,171 \cdot v_{mn} + 0,003 \cdot Q \cdot T_{mn} - 0,138 \cdot Q \cdot v_{mn} - 0,047 \cdot T_{mn} \cdot v_{mn} - 0,083 \cdot Q^2 - 0,142 \cdot T_{mn}^2 - 0,004 \cdot v_{mn}^2. \quad (12)$$

Оценка адекватности модели:  $F_{разр} = 0,888$ ;  
 $F_{табл} = 2,5$ ;  $F_{разр} < F_{табл}$  – модель адекватна.

Математическая модель с тремя сменными для коэффициента сушки  $y_3$ :

$$y_3 = 3,0489 + 0,095x_1 + 0,130x_2 + 0,050x_3 + 0,006x_1x_2 + 0,10 + 9x_1x_3 + 0,073x_2x_3 - 0,026x_1^2 - 0,139x_2^2 - 0,003x_3^2.$$

Уравнения регрессии коэффициента сушки в натуральных факторах примет вид:

$$K = 3,0489 + 0,095 \cdot Q + 0,130 \cdot T_{mn} + 0,050 \cdot v_{mn} + 0,006 \cdot Q \cdot T_{mn} + 0,109 \cdot Q \cdot v_{mn} + 0,073 \cdot T_{mn} \cdot v_{mn} - 0,026 \cdot Q^2 - 0,139 \cdot T_{mn}^2 - 0,003 \cdot v_{mn}^2. \quad (13)$$

Оценка адекватности модели:  
 $F_{разр} = 0,045$ ;  $F_{табл} = 2,5$ ;  $F_{разр} < F_{табл}$  – модель адекватна.

Программа оценивает значимость коэффициентов по критерию Стьюдента, а также адекватность модели по критерию Фишера [14, 15, 19].

Средние значения, показателей параметров оптимизации определяли по реализации параллельных наблюдений по формуле:

$$\bar{y}_i = \frac{\sum_{j=1}^{m_n} y_{ij}}{m_n}, \quad (14)$$

где:  $y_i$  – истинное значение параметра оптимизации;  $y_{ij}$  – строка плана матрицы планирования;  $m_n$  – число параллельных наблюдений в каждой точке;  $j$  – порядковый номер параллельного опыта в каждой точке плана матрицы.

**Таблица 4.** Дисперсионный анализ технологического процесса сушки фруктов в гелиосушилке

**Table 4.** Analysis of variance of the technological process of drying fruit in solar dryer

Факторы	Суммы квадратов	Число степени свободы	Средний квадрат
Тепловой поток	$S_{bi}^2 = N^{-1} \sum_i x_i^2 \dots x_{(..)}^2 / N^2$	$n-1$	$S_1/n-1$
Температура теплоносителя	$S_{b3}^2 = N^{-1} \sum_k x_k^2 \dots x_{(..)}^2 / N^2$	$n-1$	$S_3/n-1$
Скорость теплоносителя	$S_{b1}^2 = N^{-1} \sum_j x_j^2 \dots x_{(..)}^2 / N^2$	$n-1$	$S_2/n-1$
Остаток	$S_e$ – разность	$(n-1)(n-2)$	$S/(n-1)(n-2)$

Среднее квадратное отклонение дисперсионной ошибки определяем уравнению регрессии по формуле:

$$S_0^2 = \sum_{i,j,k} x_{(i,j,k)}^2 \dots x_{(..)}^2 / N^2. \quad (15)$$

Оценку дисперсии адекватности модели определяем по формуле:

$$S_{ao}^2 = \frac{\sum b_i^{*2}}{N-l}, \quad (16)$$

где:  $N$  – число опытов;  $l$  – число параметров в уравнении.

**Таблица 5.** Результаты дисперсного анализа  
**Table 5.** Results of variance of analysis

Источник изменчивости	Суммы квадратов	Число степеней свободы	Средний квадрат
$Q$	0,00146	2	0,00073
$T_{mn}$	0,00925	2	0,004628
$v_{mn}$	0,00047	2	0,000235
$S_e$		0	
$S_{обычн}$	0,0119693	8	0,001496

Доверительным интервалом коэффициента регрессии:

$$|\Delta b_i| = T_{\alpha;n} \cdot S_{bi}, \quad (17)$$

где:  $T_{\alpha;n}$  – критерий Стьюдента;  $n$  – число опытов;  $S_{bi}$  – приближенное значение ошибки воспроизводимости.

Оценка значений коэффициентов регрессии связана с построением доверительных интервалов (коэффициент уравнения регрессии значимо, если его абсолютная величина больше доверительного интервала) [14]:

$$|b_i| \geq |\Delta b_i|, \quad (18)$$

Адекватность полученной модели процесса сушки проверяем по критерию Фишера  $F$  [12, 16]:

$$F_i = \frac{S_{ao}^2}{S_0^2}. \quad (19)$$

Табличное значение  $F_{таб}$  примем в соответствии из полученных цифр степеней свободы  $F_{ao} = N-K$  и  $F_{ao} = (m-1)$  при  $Q=5\%$  и уровне значимости 2,5:

$$F_i = \frac{S_{ao}^2}{S_{сп.кв.}^2} < 2,5. \quad (20)$$

Статистика распределения по критерий Стьюдента  $f=(n-1)$  степенями свободы рассчитывается по формуле:

$$\sqrt{\lambda_c} = \sqrt{\frac{(\sum b_i^{*2})^2}{n} - \frac{(n-1)n}{S(n-1)}} = \frac{\sum b_i^{*2}}{n} \cdot \sqrt{\frac{n}{3}}. \quad (21)$$

Для оптимизации теплотехнических параметров процесса сушки был избран графический метод, с использованием линейных функций. Линейные функции  $y_1=f(x_1, x_n)$ ,  $y_2 = f(x_1, x_n)$ ,  $y_3 = f(x_1, x_n)$  предлагаются для технологического описания и выбора оптимальных значений, обоснованные параметров и режимов работы гелиосушилки зависимости от теплового потока ( $x_1$ ), температуры теплоносителя ( $x_2$ ), скорости теплоносителя ( $x_3$ ).

Способ нахождения зависимостей  $y_n=f(x_1, x_n)$  применим в виде создания линейных функций

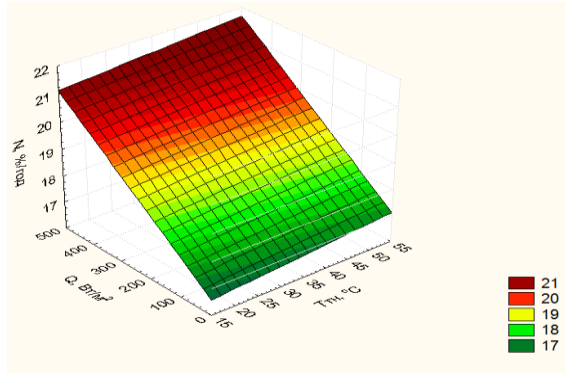
$$y = \sum_{i=1}^n f_i(C_i) \text{ от значений исследуемых факторов:}$$

$$N=f(Q, T_{mn}); N=f(Q, v_{mn}); N=f(T_{mn}, v_{mn}).$$

$$W_{кр}=f(Q, T_{mn}); W_{кр}=f(Q, v_{mn}); W_{кр}=f(T_{mn}, v_{mn}).$$

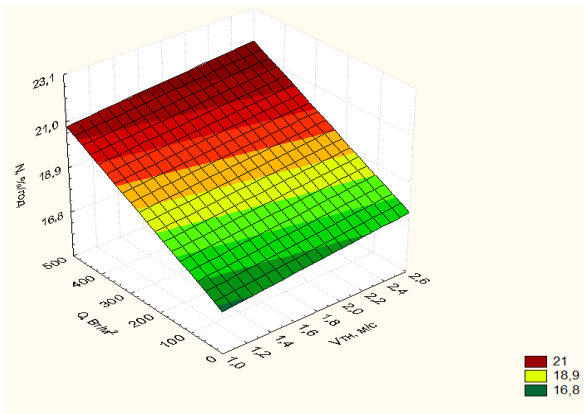
$$K=f(Q, T_{mn}); K=f(Q, v_{mn}); K=f(T_{mn}, v_{mn}).$$

В оценке области многофакторного эксперимента обоснованно режимы работы гелиосушилки с тепловым аккумулятором:  $10 \text{ Вт/м}^2 \leq Q \leq 460 \text{ Вт/м}^2$ ;  $20 \text{ }^\circ\text{C} \leq T_{\text{TH}} \leq 50 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $1 \text{ м/с} \leq v_{\text{TH}} \leq 2,5 \text{ м/с}$ .



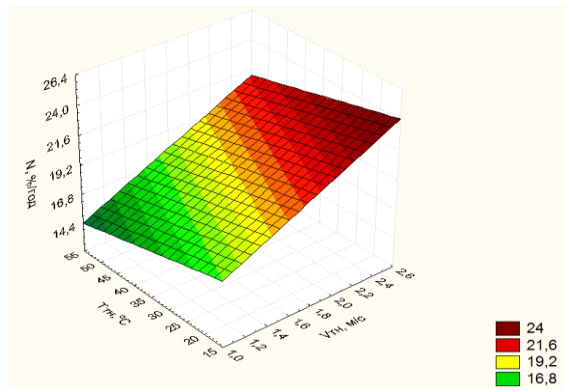
**Рис. 1.** График поверхности функции отклика  $N=f(Q, T_{mn})$

**Fig. 1.** Schedule of the surface response function  $N=f(Q, T_{mn})$



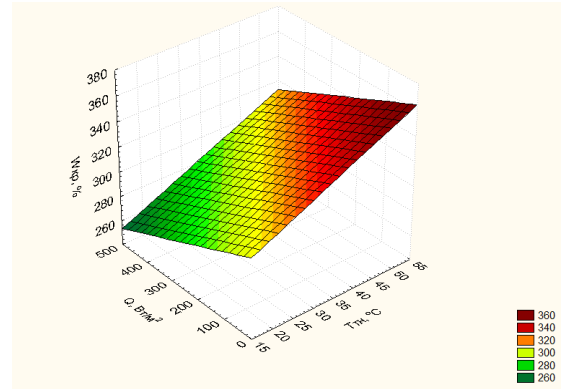
**Рис. 2.** График поверхности функции отклика  $N=f(Q, v_{mn})$

**Fig. 2.** Schedule of the surface response function  $N=f(Q, v_{mn})$



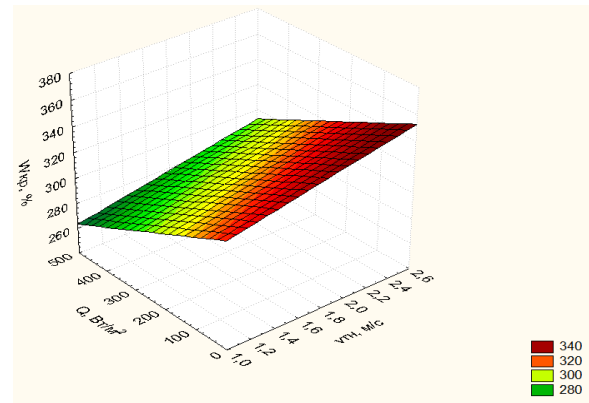
**Рис. 3.** График поверхности функции отклика  $N=f(T_{mn}, v_{mn})$

**Fig. 3.** Schedule of the surface response function  $N=f(T_{mn}, v_{mn})$



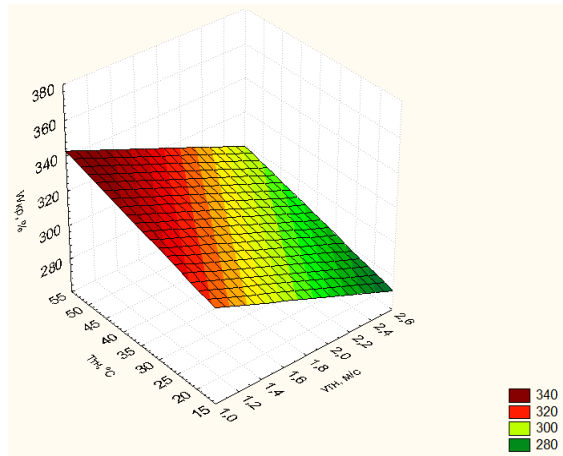
**Рис. 4.** График поверхности функции отклика  $W_{кр}=f(Q, T_{mn})$

**Fig. 4.** Schedule of the surface response function  $W_{кр}=f(Q, T_{mn})$



**Рис. 5.** График поверхности функции отклика  $W_{кр}=f(Q, v_{mn})$

**Fig. 5.** Schedule of the surface response function  $W_{кр}=f(Q, v_{mn})$



**Рис. 6.** График поверхности функции отклика  $W_{кр}=f(T_{mn}, v_{mn})$

**Fig. 6.** Schedule of the surface response function  $W_{кр}=f(Q, T_{mn})$

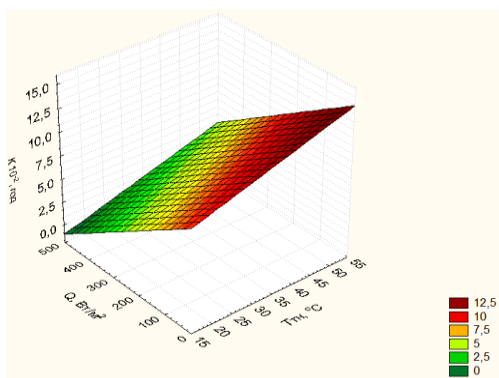


Рис. 7. График поверхности функции отклика  $K=f(Q, T_{\min})$

Fig. 7. Schedule of the surface response function  $K=f(Q, T_{\min})$

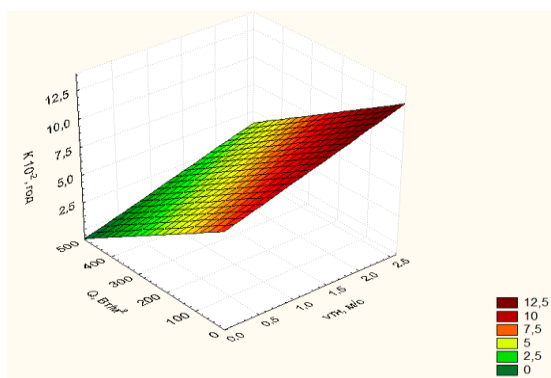


Рис. 8. График поверхности функции отклика  $K=f(Q, v_{\min})$

Fig. 8. Schedule of the surface response function  $K=f(Q, v_{\min})$

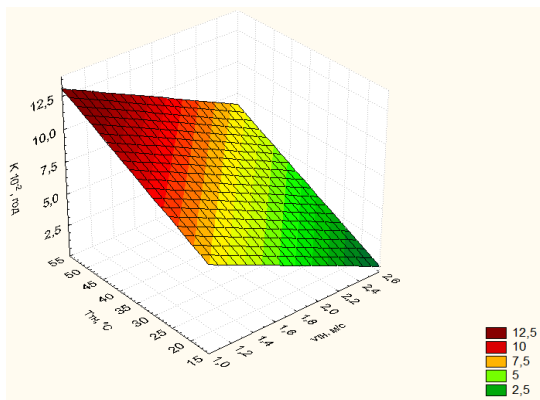


Рис. 9. График поверхности функции отклика  $K=f(T_{\min}, v_{\min})$

Fig. 9. Schedule of the surface response function  $K=f(T_{\min}, v_{\min})$

Анализ полученных результатов (рис. 1–9) показывает, что максимальное значение скорости сушки  $N$  достигает от 14,4 до 23,5%/ч., При тепловом потоке  $Q$  от 10 до 460 Вт/м<sup>2</sup>, температуре теплоносителя  $T_{\min}$  от 20 °С до 50 °С и скорости циркуляции теплоносителя  $v_{\text{тн}}$  от 1 до 2,5 м/с. Критическая влажность продукта  $W_{\text{кр}}$  при этом снижается от 380 до 260%, а коэффициент сушки  $K$  - увеличивается от  $2,05 \cdot 10^{-2}$  до  $15 \cdot 10^{-2}$  ч. Результаты

расчета продолжительности процесса сушки фруктов в гелиосушилке приведены в табл. 6.

Таблица 6. Результаты расчета продолжительности сушки фруктов в гелиосушилке

Table 6. Results of calculation of the duration of drying fruit in the solar dryer

№ опыта	$\tau_{\text{зе}}$	$\tau_1$ , ГОД	$\tau_2$ , ГОД	$N$ , %/ГОД	$W_{\text{кр}}$ , %	$K$ , 1/ГОД
1	122	1,8	120,2	17,91	308	0,051
2	50	4,63	45,37	18,967	306,54	0,068
3	75	3,57	71,43	18,6	307,9	0,079
4	77	6,15	70,85	18,573	312,5	0,071
5	50	2,11	47,89	18,587	304,4	0,073
6	50	2,31	47,69	19,2	302,1	0,081
7	98	2,13	95,87	20,013	328,5	0,05
8	118	2,96	115,04	20,4	307,4	0,098

Таким образом, полученные зависимости носят растущий или спадающий характер, что соответствует физической сущности процесса сушки фруктов в гелиосушилке с тепловым аккумулятором.

## ВЫВОДЫ

1. На основе многофакторных исследований обоснованно режимы работы гелиосушилки в области:  $10 \text{ Вт/м}^2 \leq Q \leq 460 \text{ Вт/м}^2$ ;  $20 \text{ °С} \leq T_{\min} \leq 50 \text{ °С}$ ;  $1 \text{ м/с} \leq v_{\min} \leq 2,5 \text{ м/с}$  в процессе сушки фруктов на качество готового продукта от зависимостей постоянной скорости  $N=16,44\%/ч$ , критической влажности  $W_{\text{кр}}=310\%$ , коэффициента сушки  $K=6,24 \cdot 10^{-2}$ , град, продолжительности сушки фруктов составляет  $\tau=50 \dots 122$  часов.

2. Уравнения регрессии в декодированном виде позволяет расчетным способом настроить процесс сушки в гелиосушилке при выборе значений рассматриваемых факторов, которые лежат в области эксперимента.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Лыков А.В. 1968.** Теория сушки. М.: Энергия, 472.
2. **Лыков А.В. 1970.** Тепломассообмен справочник. М.: Энергия, 480.
3. **Гинзбург А.С. 1973.** Основы теории и техники сушки пищевых продуктов. М.: Пищевая промышленность, 528.
4. Funkcjonalnosc zintegrowanego systemu grzewczego w ogrzewanych tunelach foliowych / gasa zbiorowa pod redakcji Slawomira Kurpaski. – Krakow: polskie towarzystwo inzynierii rolniczej, 2004, 80.
5. **Кац З.А. 1972.** Сушка пищевых продуктов в виброкипящем слое. М.: Энергия, 44.
6. **Vagenas G.K. 2010.** Kinetyka suszenia owocow - Motrol. Люблин, - Том 12В, 116-121.
7. **Флауменбаум Б.Л. 1986.** Основы консервирования пищевых продуктов. М.: Агропромиздат, 494.



8. **Плешков Б.П. 1987.** Биохимия сельскохозяйственных растений. М.: Агропромиздат, 495.
9. **Коробка С.В. 2013.** Исследование параметров и режимов работы конвективной гелиосушилки фруктов. MOTROL. Vol.15, №4. 134-139.
10. **Коробка С.В. 2014.** Исследование солнечно-радиационно-конвективного способа сушки ягодных плодов в конвективной гелиосушилке. MOTROL. Vol.16, №4. 112-116.
11. **Веников В.А. 1986.** Теория подбора и моделирования. М.: Высшая школа, 480.
12. **Гусейнов Ф.Г., Мамедяров О.С. 1988.** Планирование в задачах электроэнергетики. М.: Энергоатомиздат, 149.
13. **Федоров В.В. 1971.** Теория оптимального эксперимента. М.: Наука, 378.
14. **Финни Д.В. 1970.** Введение в теорию оптимального эксперимента. М.: Наука, 243.
15. **Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. 1976.** Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 274.
16. **Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рощин П.М. 1980.** Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Л.: Колос, 258.
17. **Красовский Г.И., Филаретов Г.Ф. 1982.** Планирование эксперимента. Минск : Изд-во БГУ им. В. И. Ленина, 302.
18. **Веденяпин Г.В. 1973.** Общая методика исследования и обработки опытных данных. М.: Колос. 200.
19. **Бачурская Л.Д., Гуляев В.Н. 1976.** Пищевые концентраты. М.: Пищевая промышленность, 335.
20. **Рабинович С.Г. 1978.** Погрешности измерений. Л.: Энергия, 262.

## DESIGN PROCEDURE OF THE DURATION OF DRYING FRUIT IN SOLAR INSTALLATIONS

**Summary.** This article describes the features of experiment planning methods. Made a quadratic equation regression for planning multifactor experiment in the process of drying fruit in solar installations, with which you can establish modes of operation of solar installations depending on the structural and technological parameters.

There was made number of experiments necessary for our case  $3^3$ . Was made the matrix of planning experiments and experimental results for function of recall – speed drying, critical humidity, coefficient of drying in the identification of factors:  $10\text{Wt/m}^2 \leq Q \leq 460\text{Wt/m}^2$ ;  $20^\circ\text{C} \leq T_{mn} \leq 50^\circ\text{C}$ ;  $1\text{ m/s} \leq v_{mn} \leq 2,5\text{ m/s}$ . Built surface response target functions in the impact parameter plane.

Done dispersion analysis' of process of drying fruit in solar installations. There were calculated and verified assessment of the adequacy of models on Fisher criterion.

On the basis of multifactor experiments accepted modes of operation solar installations:  $10\text{Wt/m}^2 \leq Q \leq 460\text{Wt/m}^2$ ;  $20^\circ\text{C} \leq T_{mn} \leq 50^\circ\text{C}$ ;  $1\text{ m/s} \leq v_{mn} \leq 2,5\text{ m/s}$  in the process of drying fruit on the quality of the finished product depends on constant speed  $N=16,44\%$ h, critical humidity  $W=310\%$ , coefficient of drying  $K=6,24 \cdot 10^2$ .

Done description of the impact of structural parameters, area of air collector  $S_{\text{нк}}=1,5\text{ m}^2$  and mass of heat accumulative material of thermal accumulator  $m_{\text{ма}}=50\text{kg}$ , from changes of parameters of the environment, ambient temperature  $T_{\text{ис.ср.}}=-16-32^\circ\text{C}$ , the level of solar activity  $I_{\text{иср}}=100-824\text{Wt/m}^2$  on the characteristics of the process of drying fruit in the assessment area, the following parameters:  $10\text{Wt/m}^2 \leq Q \leq 460\text{Wt/m}^2$ ;  $20^\circ\text{C} \leq T_{mn} \leq 50^\circ\text{C}$ ;  $1\text{ m/s} \leq v_{mn} \leq 2,5\text{m/s}$ .

**Key words:** solar installations, criterion optimization, factor, fruit.



## FUZZY-LOGIC КОНТРОЛЛЕР УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

*Сергей Сиротюк, Валерий Сиротюк, Владимир Гальчак*

*Львовский национальный аграрный университет*

*Ул. В. Великого, 1, Дубляны, Украина. E-mail: ssyr@ukr.net*

*Serhiy Syrotyuk, Valery Syrotyuk, Vladimir Halchak*

*Lviv National Agrarian University*

*Str. Vladimir the Great, 1, Dublyany, Ukraine. E-mail: ssyr@ukr.net*

**Аннотация.** На основе выполненного литературного анализа осуществлено обоснование усовершенствованной интеллектуальной системы управления режимами работы ветроэлектрической установки.

Установлено функциональную связь между параметрами электрогенератора и ветрового ротора с учетом его быстроходности и конструктивным исполнением. Определено оптимальное значение передаточного числа мультипликатора исходя из частоты тока и полюсности ротора электрогенератора и быстроходности ветрового ротора. Предложено определять частоту вращения ветрового ротора посредством анализа частоты тока электрогенератора, с учетом полюсности ротора и передаточного отношения мультипликатора.

Обоснованы требования пользователя и функциональную спецификацию с распределением функций между аппаратной и программной частями системы управления ветроэлектрической установки, осуществлен подбор аппаратных средств и программного обеспечения.

Приведена структура автоматизированной системы управления режимами работы ветроэлектрической установки сельскохозяйственного назначения. Применение разработанной системы управления обеспечивает работу ветроэлектрической установки в режиме оптимального значения коэффициента использования энергии ветра, стабилизацию выходной мощности при превышении номинального значения скорости ветра выводом ветрового ротора из-под ветра и защиту ветроустановки от разрушения при превышении максимальной рабочей скорости ветра и ее торможения в аварийных режимах.

Осуществлена разработка усовершенствованного алгоритма управления ветроэлектрической установкой.

Разработаны программно-аппаратные средства для управления режимами работы ВЭУ с применением программного комплекса LabVIEW со встроенными инструментами "Fuzzy System Designer" и внешнего блока ввода-вывода информации, типа NI USB 6212, присоединяемого к ПК посредством USB-порта.

**Ключевые слова:** контроллер, нечеткая логика, ветроэлектрическая установка; система управления, программно-аппаратные средства.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Эффективная работа ветроэлектрической установки (ВЭУ) может быть достигнута при условии четкого согласования параметров ветрового потока, электромеханической части ветроэлектрической установки и нагрузки. При этом система управления ВЭУ должна обеспечивать режим работы, соответствующий максимальному значению коэффициента использования энергии ветра с соответствующей ориентацией ветрового ротора в зависимости от скорости изменяющегося ветрового потока и случайного характера нагрузки.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Разработке средств управления ВЭУ уделяется значительное внимание. В частности, создаются автоматизированные системы управления, построенные на базе микропроцессорных средств обработки информации и генерирования сигналов управления [1, 2]. Также известны системы, основанные на использовании аппаратно-программных средств MathLab, MathCAD, LabVIEW и других [3-6]. Учитывая стохастический характер поступления энергии ветра и потребления производимой ВЭУ электроэнергии, в последние годы активизировались разработки систем управления с применением теории нечетких множеств [7-11].

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Системы управления ВЭУ, построенные на указанных теоретических и аппаратных принципах, в основном используются на мощных ВЭУ вследствие их значительной сложности и стоимости. Большинство автономных ВЭУ бытового и сельскохозяйственного назначения, ориентированы на использование простых технических средств управления режимами работы и защиты [12-14], однако, они не обеспечивают работу с оптимальным значением коэффициента использования энергии ветра.

Нами предлагается усовершенствованная интеллектуальная система управления режимами ра-

боты ВЭУ и ее защиты в аварийных режимах, построенная на базе алгебры нечетких множеств с усовершенствованным алгоритмом.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Основным фактором, который предопределяет эффективность работы ВЭУ является коэффициент использования энергии ветра, который зависит как от скорости ветра, конструктивных параметров ветрового ротора, так и нагрузки в функции быстроходности ротора  $Z_{omm}$ .

Оптимальное значение модульности данного типа и конструкции ветрового ротора определяют по типовым зависимостям коэффициента использования энергии ветра от модульности ветрового ротора (рис. 1) [12-15].

Исходными данными для осуществления согласования параметров электромеханической системы ВЭУ являются:

- номинальная скорость ветра –  $v$ , м/с,
- радиус ветрового ротора –  $r_{ep}$ , м,
- частота вращения вала электрогенератора –  $n_{ген}$ , об / мин.,
- номинальная частота тока электрогенератора –  $f$ , Гц.

Для оценки быстроходности ветрового ротора необходима информация о его угловой скорости и скорости ветра, которые связаны зависимостью:

$$Z = \frac{\omega \cdot r_{ep}}{v}, \quad (1)$$

где:  $\omega$  – угловая скорость ветрового ротора, рад/с.

Поскольку измерения угловой скорости ротора требует использования сложных и дорогостоящих приборов предлагается ее определять по частоте тока электрогенератора с учетом его параметров и параметров мультипликатора.

Учитывая частоту тока и частоту вращения вала электрогенератора, определяем количество пар полюсов ротора  $m$  по формуле:

$$m = \frac{60 \cdot f}{n_{ген}}. \quad (2)$$

Тогда, текущие значения быстроходности определится по формуле

$$Z_i = \frac{2\pi \cdot f \cdot r_{ep}}{v \cdot i \cdot m}, \quad (3)$$

где:  $i$  – передаточное число мультипликатора ветроустановки, значение которого для конкретного конструктивного исполнения и номинальных значений параметров  $f_n$ ,  $Z_{omm}$ ,  $v_n$  определяется по формуле:

$$i = \frac{2\pi \cdot f_n \cdot r_{ep}}{Z_{omm} \cdot v_n \cdot m}. \quad (4)$$

Разрабатываемая система управления ВЭУ должна обеспечить следующие управляющие воздействия:

- поворот кабины для наведения на ветер;
- оптимальная нагрузка генератора аккумулятором, электронагревателями и внешней электросети;
- вывод ротора из-под ветра при превышении номинального значения скорости ветра;
- торможение ветрового ротора при превышении максимального значения скорости ветра и в аварийных режимах.

К разрабатываемой системе управления ВЭУ выдвигаются следующие требования пользователя:

- ориентация оси ветрового ротора на ветер при скорости, не превышающей номинального значения;
- ограничение мощности ветроустановки при превышении номинальной скорости ветра выводом ротора из-под ветра;
- удержание ветроустановки на максимуме коэффициента использования энергии ветра во всем диапазоне скоростей ветра;
- управление системой торможения ветрового ротора и его защиты при аварийных ситуациях.

Для реализации указанных требований необходимо обеспечить выполнение следующих функций:

- 1) измерение направления ветра с анализом величины угла отклонения,
- 2) управление электроприводом системы наведения ротора на ветер,
- 3) изменение логики управления (поиск ветра или вывода из-под ветра),
- 4) изменение нагрузки электрогенератора для обеспечения угловой скорости ротора электрогенератора, соответствующей максимуму коэффициента использования энергии ветра (управление зарядом аккумуляторной батареи, электронагревателями, работой на внешнюю электросеть),
- 5) управление электроприводом тормозной системы ветроустановки.

Следующим этапом разработки системы управления режимами работы ВЭУ является распределение функций между аппаратной и программной частями, которые представлены в табл. 1.

Реализация функций требует подбора соответствующих аппаратных средств:

- измерения направления ветрового потока - анемометр с крыльчатим первичным преобразователем с перпендикулярным расположением направлениям оси анемометра относительно оси ветрового ротора либо флюгерным первичным преобразователем,
- измерение скорости ветра – анемометр с чашечным первичным преобразователем,
- наведение ротора ветроустановки на ветер и вывод из-под ветра – поворотный механизм с реверсивным электроприводом на базе двигателя постоянного тока,
- управление электроприводом поворотного механизма – автоматизированная система управления на базе виртуальных приборов фирмы "National Instruments" с выносным блоком ввода-вывода, например, NI USB 6212 и ПК,
- изменение нагрузки электрогенератора – блок силовых ключей на базе IGBT транзисторов с возможностью присоединения к регулятору заряда аккумуляторной батареи; ТЭНы бака-аккумулятора системы горячего водоснабжения; сетевой инвертор или другие потребители электроэнергии, не требующие четкой регламентации их работы во времени,
- торможение ветрового ротора – дисковое тормозное устройство с автономным электроприводом с возможностью дистанционного ручного и автоматического управления.

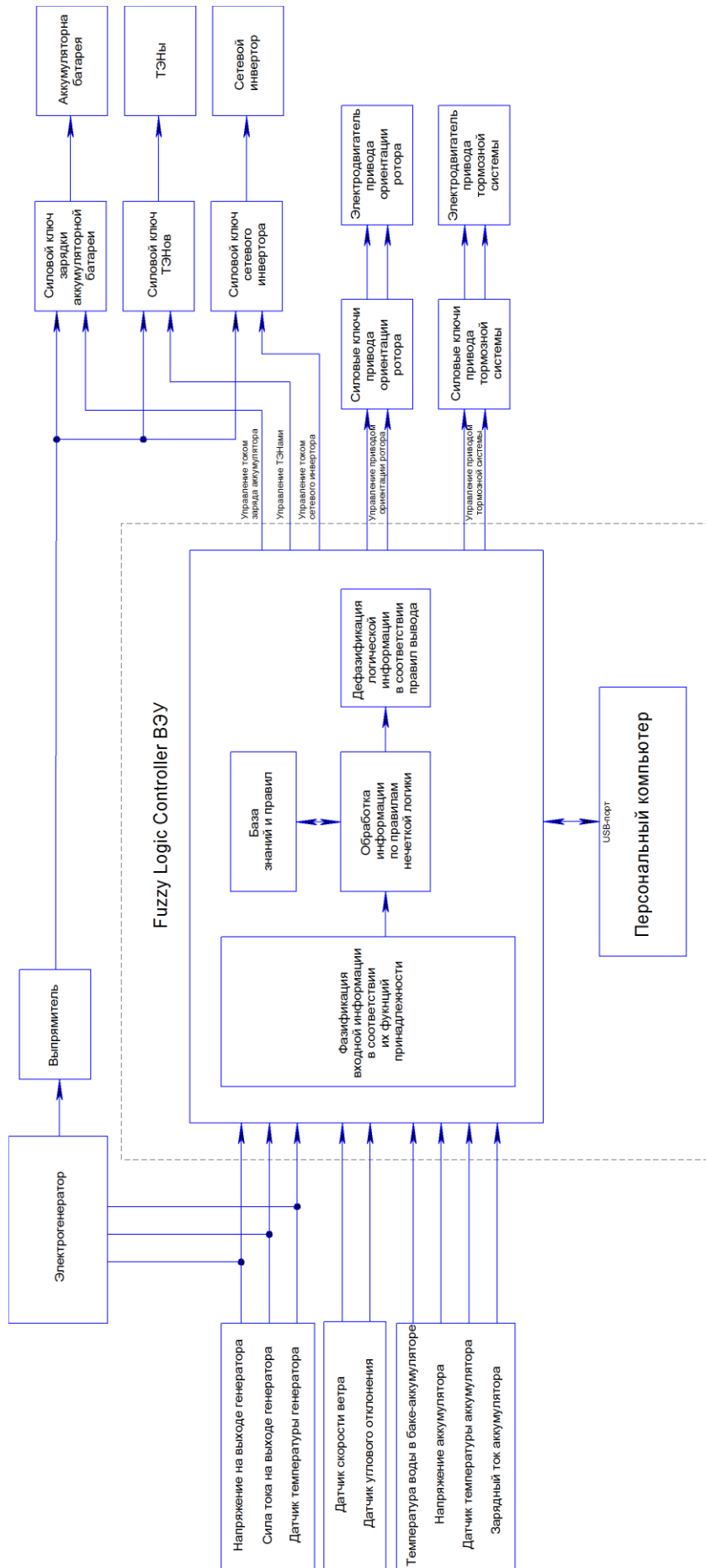


Рис. 1. Структурная схема системы управления ВЭУ  
Fig. 1. Block diagram of the control system of wind power installation

**Таблица 1.** Распределение функций между аппаратной и программной частями системы управления режимами работы ВЭУ

**Table 1.** Distribution of functions between hardware and software of the system of management mode of operation wind power installation

Номер функции	Способ реализации	
	аппаратный	программный
1	Измерение величины и направления отклонения оси ветрового ротора тахометрическим датчиком	Анализ величины и направления угла отклонения оси ветрового ротора
2	Электропривод и система управления электроприводом	Формирования сигналов управления поворотной системой
3	Измерение скорости ветра анемометром	Анализ скорости и формирования сигналов управления наведения на ветер, или выводом из-под ветра
4	Присоединение нагрузки электрогенератора электронными ключами	Анализ скорости ветра и частоты вращения ветрового ротора, расчет быстроходности, анализ коэффициента использования энергии ветра, формирования сигналов управления нагрузкой
5	Вывод ветроустановки из-под ветра. Включение и выключение тормозной системы в ручном и автоматическом режимах	Анализ скорости ветра, формирования сигналов вывода из-под ветра и торможения ротора ветроустановки

Реализация всех программных функций системы управления ветроустановкой обеспечивается использованием программного продукта "LabVIEW" фирмы "National Instruments" с разработанным программным кодом и использованием встроенных инструментов "Fuzzy System Designer".

Для обеспечения восприятия ветрового потока ветроэлектрической установкой во всем диапазоне скоростей и направлений в режиме максимального коэффициента использования энергии ветра, а также для ее защиты в аварийных ситуациях разработана структурная схема системы управления (рис. 1).

В состав структурной схемы системы управления входят: электрогенератор; выпрямитель; первичные преобразователи информации; Fuzzy Logic контроллер; формирователи сигналов управления, а также исполнительные устройства.

Fuzzy Logic контроллер реализован на базе блока сбора и обработки данных и формирования сигналов управления с использованием аппаратно-программных средств фирмы "NI" с выносным блоком ввода-вывода и программным обеспечением "LabVIEW" с инструментами нечеткой логики.

К устройствам управления ВЭУ относятся: электропривод наведения ветровой турбины на ветер и вывода из-под ветра; электропривод тормозной системы; дисковая тормозная система.

К устройствам нагрузки электрогенератора ВЭУ относятся блок электрических аккумуляторных батарей; блок ТЭНов бака-аккумулятора системы горячего водоснабжения; сетевой инвертор.

Управление режимами работы ВЭУ осуществляется на основании обработки данных входных потоков информации в виде аналоговых электрических сигналов, поступающих с первичных преобразовате-

лей и других источников, которые подаются на соответствующие входы блока ввода-вывода, который, подсоединен к USB-порту ПК.

Обработка исходной информации осуществляется с использованием алгебры четких и нечетких множеств, с применением встроенных инструментов "Fuzzy System Designer" [16-20]. В структурную схему блока обработки входящей информации входят блоки: фазификации четких электрических сигналов с использованием блока функций принадлежности; блок логической обработки информации по правилам нечеткой логики, с использованием базы знаний и правил; блок дефазификации нечеткой логической информации по правилам вывода в соответствии с его функциями принадлежности.

Согласование выходных сигналов ПК с устройствами использования электрической энергии осуществляется с применением блока согласования выходных сигналов с входными параметрами силовых ключей, выходные параметры которых согласованы с параметрами исполнительных устройств.

Общий алгоритм работы ВЭУ в режиме поиска оптимальной нагрузки, который обеспечивает максимальное значение коэффициента использования энергии ветра, был предложен ранее [21]. Однако, в нем не отражено управление ВЭУ в режиме превышения номинальной скорости ветра, а также ее защиту в аварийных режимах. Кроме того, не отражены исполнительные устройства, обеспечивающие изменение режимов работы ВЭУ, в зависимости от изменения скорости ветра.

Усовершенствованный укрупненный алгоритм управления работой ВЭУ представлен на рис. 2.

Фронтальная панель и фрагмент кода системы управления режимами работы ВЭУ представлены на рис. 3 и 4.

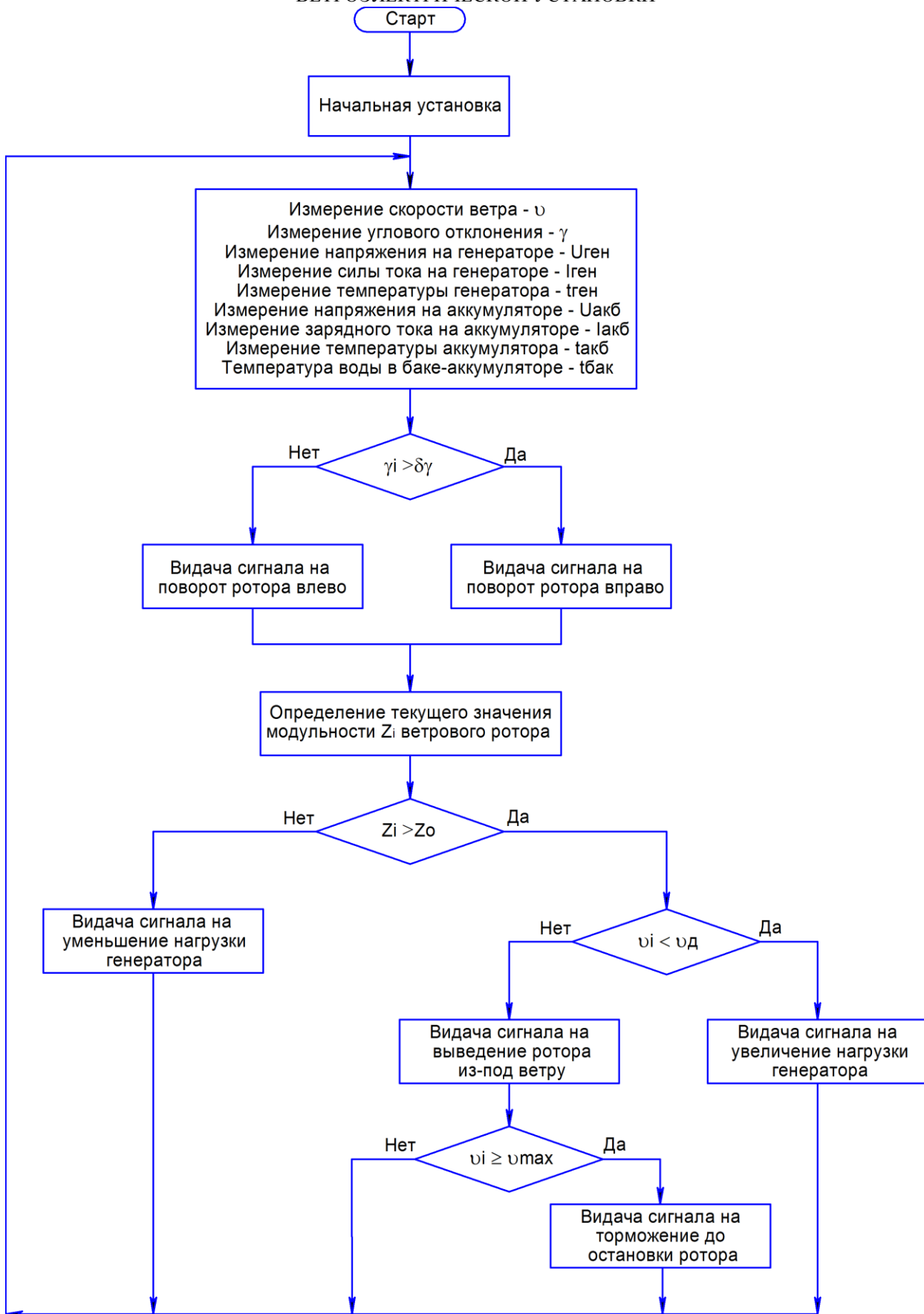


Рис. 2. Алгоритм управления режимами работы ВЭУ

Fig. 2. Algorithm of management mode of operation wind power installation



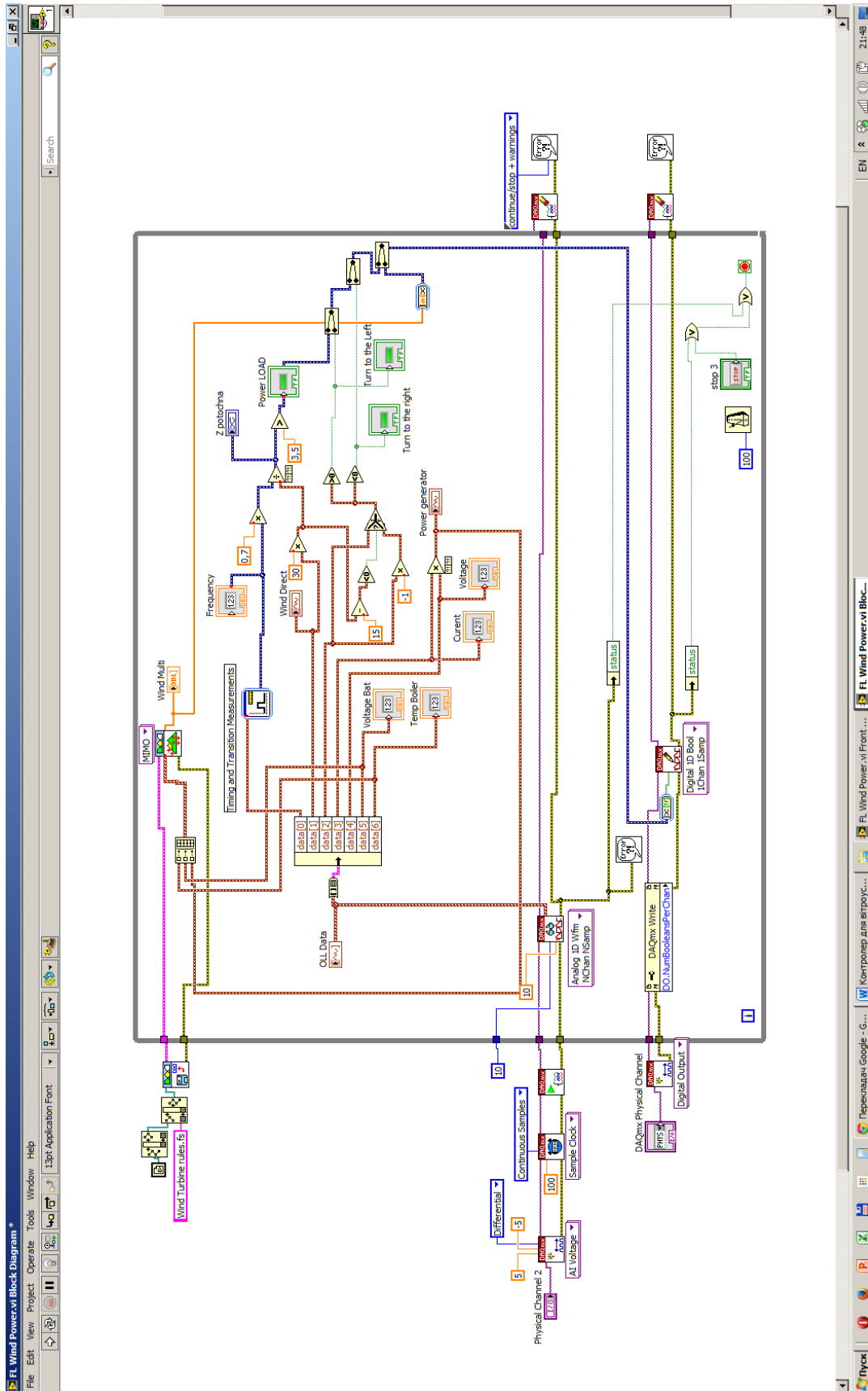


Рис. 3. Фрагмент блок-диаграммы системы управления режимами работы ВЭУ  
Fig. 3. Fragment of block diagram of the system management of operating modes of wind power installation

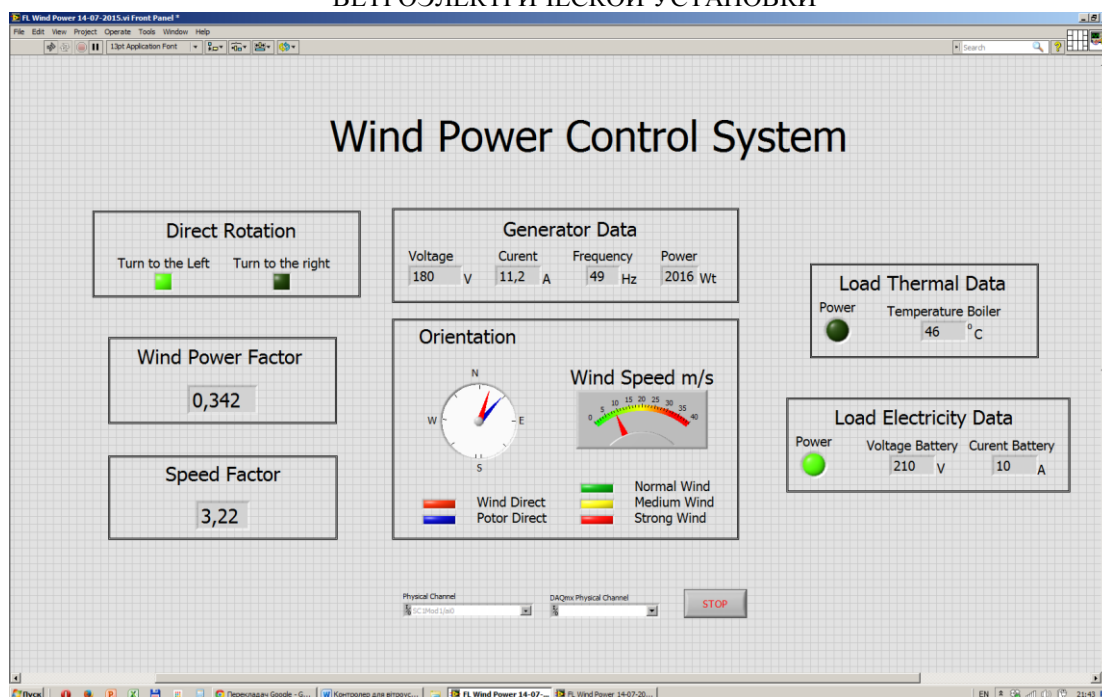


Рис. 4. Фронтальная панель системы управления режимами работы ВЭУ

Fig. 4. The front panel the control system modes of operation of wind power

#### ВЫВОДЫ

1. Предложенная система управления ВЭУ оптимизирует режимы работы ветроустановки, в функции обеспечения максимального значения коэффициента использования энергии ветра, приспособлявая ее к нерегулярно изменяющейся скорости ветра и стохастическому характеру потребления энергии.

2. Применение программного продукта LabVIEW и инструментария "Fuzzy System Designer" позволяет существенно сократить затраты средств и времени на разработку системы управления ВЭУ.

3. Разработанная система управления режимами работы ВЭУ может быть интегрирована в систему управления энергетическими потоками гибридной системы энергообеспечения сельскохозяйственных и жилых объектов.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Jeong H.G., Seung R.H., Lee K.B. 2012. An Improved Maximum Power Point Tracking Method for Wind Power Systems. *Energies* 5, 1339-1354.
2. Gavino R. B., John Christopher Y., Richmond L., Bryan L. Tan, Alvin Y. Chua. 2007. Development of an Automated Wind Turbine Using Fuzzy Logic. *DLSU Engineering e-Journal*. Vol. 1, No. 1, March, 28-42.
3. Soetedjo A., Lomi A., Mulayanto W. P. 2011. Modeling of Wind Energy System with MPPT Control. 2011 International Conference on Electrical Engineering and Informatics 17-19 July, Bandung, Indonesia, 92-96.
4. Owino L. A., Nyakoe G. N. 2012. Maximum Power Tracking in Horizontal Axis Wind Turbine Using Fuzzy Logic Controller. *International Journal of Advances in Engineering, Science and Technology (IJAEST)*. Vol. 2 No. 2 May-July, 131-138.
5. Majid A. Abdullah, A.H.M. Yatim, Chee Wei, Tan. 2011. A Study of Maximum Power Point Tracking Algorithms for Wind Energy System. 2011 IEEE First Conference on Clean Energy and Technology CET. JANUARY, 321-326.
6. Mueeen S.M. 2010. *Wind Power*. Intech, 558.
7. Lavanya N., Pasha J. 2014. To Improve the Active Power in Wind Power Generation by Using Fuzzy Logic Controller. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. Vol. 3 Issue 1, January, 92-96.
8. Petkovic D., Cojbasic Z., Nikolic V., Shamshirband S., Mat Kiah L., Anuar N.B., Abdul Wahab A.W. 2014. Adaptive neuro-fuzzy maximal power extraction of wind turbine with continuously variable transmission. *ARTICLE in ENERGY*. Energy 64, 868-874.
9. Marcelo Godoy Simoes, Bimal K. Bose, Ronald J. Spiegel. 1997. Design and Performance Evaluation of a Fuzzy-Logic-Based Variable-Speed Wind Generation System. *IEEE Transactions on Industry Applications*, Vol. 33, No. 4, July/August, 956-965.
10. Chian-Song Chiu, Zong-Han Li, and Yi-Huan Chen. 2013. T-S Fuzzy Direct Maximum Power Point Tracking of Wind Energy Conversion Systems. *International Journal of Fuzzy Systems*, Vol. 15, No. 2, June, 192-202.

11. **Vignesh P. 2015.** PMSG Based Wind Power Regulator Using Fuzzy Logic Controller. International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology. Vol. 4, Special Issue 6, May, 1303-1309.
12. **Шефтер Я.И. 1983.** Использование энергии ветра. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 200.
13. **Фатеев Е.М. 1948.** Ветро двигатели ветроустановки. – М.: ОГИЗ-СЕЛЬХОЗГИЗ, 544.
14. **Кривцов В.С., Олейников А.М., Яковлев А.И. 2004.** Неисчерпаемая энергия. Кн.2. Ветроэнергетика. – Харьков: нац. аэрокосм. ун-т "Харьк. авиац. ин-т", Севастополь: Севаст. нац. техн. ун-т, 519.
15. **Mukund R. Patel. 1999.** Wind and Solar Power Systems. CRC Press. Boca Raton, London, New York, Washington, D.C. 350.
16. LabVIEW: PID and Fuzzy Logic Toolkit User Manual. - Texas, 2009. – 126.
17. **Гостев В.И. 2008.** Нечёткие регуляторы в системах автоматического управления. – К.: "Радиоаматор" – 972.
18. **Круглов В.В. 2001.** Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В. В. Круглов, М. И. Дли, Р. Ю. Голунь. - М.: Физматлит,– 224. (Украина)
19. **Лю Б. 2005.** Теория и практика неопределенного программирования. / Б. Лю; Пер. с англ.- М.: БИНОМ. Лаборатория знаний,– 416.
20. **Сиротюк В., Сиротюк С., Гальчак В. 2014.** Fuzzy Logic контроллер солнечной системы горячего водоснабжения. / Motrol. Lublin. – Vol. 16. № 4. – 32-37.
21. **Сиротюк С. 2012.** Управление режимами работы автономной ветроэлектрической установки. Motrol. Lublin. – Том 14. –126-130.

#### FUZZY-LOGIC CONTROLLER OF MANAGEMENT MODE OF OPERATION WIND POWER INSTALLATION

Based executed literary analysis carried justification advanced intelligent system control modes wind power installation.

Was established a functional relationship between the parameters power generator and wind rotor in view of its speed factor and designs. Is defined the optimal value of the gear ratio of the multiplier based on the current frequency and polarity of the rotor power generator and the speed factor of the wind rotor. It is proposed to define speed of the wind rotor by analyzing the power generator frequency of current, taking into account the polarity of the rotor and the gear ratio multiplier. Substantiated requirements of the user and functional specifications with the distribution of functions between hardware and software parts of the system control a wind power plant, carried out the selection of hardware and software.

Powered structure of the automated control system modes wind power installations for agricultural purposes. Applications developed control system provides the wind power facility to optimum coefficient of wind energy, stabilization of output power in excess of the nominal value of the wind speed of the wind rotor output from the wind turbine and protection from destruction by exceeding the maximum working wind speed and braking in emergency conditions.

Done developing improved control algorithm wind power installation.

A firmware control modes for wind turbines from the application software system with built-in LabVIEW Fuzzy System Designer, as well as the device of input-output information, such as NI USB 6212, connecting to PC from the USB-ports.

**Key words:** controller, fuzzy logic, wind power installation; control system, software and hardware.

## ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ФОРМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВ

*Людмила Гнатышин, Оксана Прокопышин*  
*Львовский национальный аграрный университет*  
*Ул. В. Великого, 1, Дубляны, Украина. E-mail: oprokopishin@mail.ru*

*Lyudmyla Hnatyshyn, Oksana Prokopyshyn*  
*Lviv National Agrarian University*  
*St. Vladimir the Great, 1, Dubliany, Ukraine. E-mail: gnatluda@ukr.net*

**Аннотация.** Технические обеспечение фермерских хозяйств связаны с двумя группами особенностей:

– особенностью сельского хозяйства как отрасли производства (землей как главным средством производства, естественными условиями и сезонностью производства, в сельском хозяйстве, наличием живых организмов),

– особенностью фермерских хозяйств как организационно-правовой формы ведения хозяйства (преимущественно семейный тип ведения хозяйства, незначительные земельные размеры, значительная часть натурального производства).

Для решения проблемы приобретения техники, ее обслуживания и повышения эффективности использования в фермерских хозяйствах Львовщины, целесообразно применять общее использование техники. Общее межхозяйственное использование машинно-тракторного парка может развиваться такими путями:

– кооперация для предоставления производственных услуг членов кооператива с целью получения максимальной прибыли на вложенный капитал, побочно способствуя росту доходов членов кооператива,

– организация экономических взаимоотношений на основе договора предоставления взаимных услуг, однако по окончании срока такие договора разрываются или меняются, не учитывая интересы того или другого сельхозпроизводителя.

Кооперативные машинные формирования наиболее полно учитывают интересы фермеров. Фермеры в таком формировании являются одновременно и основателями, и членами кооператива, они имеют право получать технические услуги на условиях, какие ими же устанавливаются, исходя из имеющихся производственных возможностей, самостоятельно распоряжаться полученным доходом, избегая дополнительного налогообложения. Финансирование такой организационной структуры основывается на использовании объединенного капитала самих фермеров.

Расчет приобретения необходимой техники кооперативами Буского района Львовской области с учетом доступных инструментов государственной регуляции: удешевление техники (30%) и удешевление процентной ставки по кредитах (15%) доказы-

ет, что даже при такой существенной помощи государства и при условии объединения финансовых ресурсов фермерские хозяйства не в состоянии самостоятельно покупать технику для использования интенсивных технологий. Поэтому межхозяйственные кооперативы фермерских хозяйств на первом этапе целесообразно создавать только для выполнения агросервисных услуг. Это будет значительной помощью фермерским хозяйствам и позволит повысить их покупательную способность, а в дальнейшем покупать самую необходимую технику с доведением ее до нормативного уровня.

Установлено, что существующие программы государственной поддержки являются недостаточными для финансирования межхозяйственных кооперативов для полного обновления техники. Поэтому необходимым является определение приоритетности финансовой поддержки государства и этапности финансирования.

**Ключевые слова:** сельское хозяйство, фермерские хозяйства, техническое обеспечение, сельскохозяйственная техника, кооперативы, формы технического обеспечения.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В течение последнего двадцатилетия существования фермерских хозяйств проблемы их функционирования остаются неизменными. Наиболее сложным и противоречивым является вопрос ресурсного обеспечения деятельности фермерских хозяйств. В значительной мере это касается не только обеспечения земельными и трудовыми ресурсами, но и технической оснащенности фермерского производства. С одной стороны, отсутствие необходимых новых технических средств, которые не производились отечественной промышленностью, а импорт иностранных постоянно ограничивался, а с другой – отсутствие финансовых ресурсов сельскохозяйственных производителей стали причиной низкой механизации всего аграрного сектора, отдельных его отраслей и хозяйств.

Особенной эта проблема является для фермерских хозяйств, поскольку здесь не сформированы оптимальные параметры производства, отсутствуют финансовые возможности для учреждения этой формы предпринимательства, а окупаемость сельскохозяйственного производства является достаточ-

но низкой, что не позволяет осуществлять необходимые накопления. Все это требует обоснования не только целесообразного уровня технической оснащенности, но и разработки практических рекомендаций, относительно организационно экономических форм технической обеспеченности фермерских хозяйств.

#### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Проблема технической обеспеченности сельского хозяйства нашла широкое освещение в экономической литературе. Разные аспекты ее рассматриваются в трудах И. Бурковского [4], В. Горевского [7], Л. Мармуль [14], Г. Пидлисецкого [16], П. Саблука [18], Г. Черевка [19]. Вопрос ресурсной обеспеченности, в частности и технической оснащенности именно фермерских хозяйств, является менее исследованным и популярным среди научных работников. Фрагментарно они рассмотрены в трудах Я. Билоуска [3], В. Васильченко [5], Л. Гнатышин [6], И. Кишак [1], М. Колодийчук [8], М. Кононенко [9], С. Коробки [10], В. Лыпчака [2, 11, 13], В. Месель-Веселяка [15], М. Шульского [20]. Однако в трудах украинских ученых не всегда учитываются особенности фермерских хозяйств как организационно-правовой формы ведения хозяйства, их отличия за земельными размерами, специализацией, формами собственности и управления. Все вышеприведенное и обуславливает актуальность данной тематики и определяет направленность исследования на обоснование развития организационно экономических форм технической обеспеченности фермерских хозяйств.

#### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Обосновывая теоретические принципы, научно методические и практические рекомендации относительно улучшения технической обеспеченности фермерских хозяйств, разработать предложения по усовершенствованию экономических отношений в сфере технического обеспечения фермерских хозяйств.

#### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Реализация инновационно-инвестиционной стратегии агропромышленного производства требует повышения его технологического уровня. Одним из возможных направлений решения проблемы технического обеспечения фермерских хозяйств есть применение разнообразных организационных форм использования техники. Поскольку из-за малых объемов работ техника, особенно узкоспециализированная, в фермерских хозяйствах длительное время простаивает, в настоящий момент считаем целесообразным развивать разнообразные организационные формы общего использования техники, которая даст возможность обеспечить экономии ресурсов и увеличить коэффициент использования сельскохозяйственных машин и оборудования.

Опыт ведущих аграрных стран мира свидетельствует о целесообразности кооперации в обеспечении фермерских хозяйств техникой. Например, в та-

ких развитых странах мира, как США, Германия, Франция, Великобритания и Канада, от 20 до 70% фермерских хозяйств охвачено разными формами кооперирования в покупке, общем использовании и обслуживании техники [3]. Самая простая организационная форма использования техники – соседская взаимопомощь – устная договоренность между несколькими фермерами об общем использовании купленной новой или бывшей в употреблении сельскохозяйственной техники и оборудования.

Во Франции и Польше оборудование и сельскохозяйственные машины, которые есть в распоряжении кооператива, как правило, являются коллективной собственностью и за заявками фермеров выполняют в их хозяйствах с помощью наемного персонала необходимый объем работ. Финансирование кооперативов осуществляется из трех источников: ссуды, дотации, собственный капитал. Такие кооперативы не платят налоги и имеют ряд льгот, которые дают им определенное конкурентное преимущество. Достаточно распространенным является предоставление механизированных услуг на выполнение конкретных узкоспециализированных работ предприятиями самостоятельно. Широко используется прокат и аренда техники, что позволяет полнее удовлетворять потребность фермеров, экономить материальные ресурсы. Через сеть независимых дилерских пунктов реализуется и обслуживается (сервисное обслуживание, гарантийный ремонт, снабжение запасными частями) новая техника.

Как показывают предыдущие исследования, техническому обеспечению фермерских хозяйств будет способствовать создание структурированной системы производственно-технического обслуживания фермерских хозяйств, которая должна охватывать всю сферу производственного сервиса – обеспечение техникой, запасными частями, другими производственными ресурсами, ремонт и техническое обслуживание тракторов и сельскохозяйственных машин, их прокат и аренду, закупку и продажу используемых машин [11]. Такая система может быть создана на базе промышленного капитала фирм – производителей сельскохозяйственных машин – или на основе частного капитала. Результатом этого направления развития организационных структур является создание широкой сети в региональных АПК дилерских пунктов и юридическое закрепление за наиболее успешно работающими интегрированными агропромышленными формированиями роли генерального дилера [74]. По мнению В. П. Горевского, самым перспективным направлением развития рынка технических услуг является создание промышленно-финансовых групп на основе промышленного капитала фирм – производителей сельскохозяйственных машин [7]. Это обеспечит формирование четко организованной системы последующего технического сервиса с гарантией, что покупатель сельскохозяйственной техники в случае поломки машины сможет быстро и качественно ее отремонтировать, сможет выбрать более выгодную для себя форму покупки техники. В состав дилерской сети должны быть включены хоро-

шо технически оснащенные ремонтно-технические и снабженческие предприятия.

Разделяем мнение, что с целью совершенствования системы технического сервиса сельскохозяйственной техники целесообразно использовать сеть машинно-тракторных станций (МТС) [5]. К сожалению, во Львовской области такая форма организации технического сервиса не получила распространения. Вместе с тем, МТС выполняют широкий спектр платных услуг: механизированные работы; предоставляют технику во временное пользование (лизинг, прокат); обеспечивают техническую эксплуатацию машин и оборудования (техническое обслуживание, ремонт, хранение), укомплектацию и модернизацию техники; проведение консультаций и тому подобное. При функционировании МТС повышение эффективности производства продукции достигают за счет использования перспективных технологий, соблюдения агротехнических сроков выполнения технологических операций, выполнения полного спектра технологических работ. Однако создание и функционирование МТС составляет значительные трудности из-за отсутствия средств и низкого уровня менеджмента.

В условиях ограниченных финансовых ресурсов у фермеров приобретение техники является проблемным. Это предопределяет необходимость увеличивать срок эксплуатации технического парка, который в известной мере обеспечивается своевременным и качественным ремонтом и обслуживанием. При наличии ремонтной базы и квалифицированных кадров в фермерском хозяйстве выполнение ремонтных работ может быть проведено собственными силами, что обойдется значительно дешевле, однако обеспечить качественное проведение работ, особенно в условиях осложнения конструкций технических средств, не всегда возможно. Новая техника обслуживается за счет послепродажного сервиса в гарантийный срок фирмами-дилерами. Проблема возникает после завершения срока гарантийного обслуживания. Поэтому появляется потребность в ремонтно-обслуживающих работах специализированных сервисных формирований. Установлено, что эффективность расходов на отмеченные цели в 5-6 раз выше, чем на приобретение новых технических средств, а возобновление работоспособности технических средств в специализированных формированиях в 2-3 раза повышает надежность и продолжает сроки использования машин и их составных частей [4].

На наш взгляд, для решения проблемы приобретения техники, ее обслуживания и повышения эффективности использования в фермерских хозяйствах Львовской области целесообразно применять общее использование техники. Общее межхозяйственное использование машинно-тракторного парка может развиваться такими путями: кооперация для предоставления производственных услуг членов кооператива с целью получения максимальной прибыли на вложенный капитал и соответственно рост доходов членов кооператива; организация экономических взаимоотношений на основе договора предоставления взаимных услуг.

Кооперативные машинные формирования наиболее полно учитывают интересы фермеров. Фермеры здесь являются одновременно и основателями, и членами кооператива, они имеют право получать технические услуги на условиях, которые ими же устанавливаются, исходя из имеющихся производственных возможностей; самостоятельно распоряжаться полученным доходом, избегая дополнительного налогообложения. Финансирование формирования такой организационной структуры основывается на использовании объединенного капитала самих фермеров.

Развитие организационно-экономических форм технического обеспечения и создание структурированной системы производственно-технического обслуживания фермерских хозяйств должны строиться на таких принципах:

- регенерация платежеспособности и ликвидности фермерских хозяйств за счет ценовых, налоговых, финансово-кредитных и других экономических мероприятий,
- государственная поддержка отечественного сельскохозяйственного машиностроения, в частности выпуск маломощной сельскохозяйственной техники,
- сотрудничество фермеров, производителей и поставщиков технических средств на взаимовыгодных условиях,
- развитие полноценного лизингового рынка,
- формирование единого информационного пространства и мониторинга рынка материально-технических ресурсов.

В то же время фермеры активно начинают пользоваться услугами посторонних организаций и сами предоставлять услуги. Исследования показывают, что часть стоимости услуг в чистом доходе (выручке) от реализации продукции фермерских хозяйств Львовской области составляет около 3,0%, а часть оплаты услуг в структуре материальных расходов – 9,4% [11].

На основе обработки данных первичной отчетности фермерских хозяйств (форма 2-ферм) четырех районов Львовской области (Буского, Золочивского, Камянка-Бузького и Радеховского), нами установлено, что только 17 из 169 исследованных хозяйств (10,1%) предоставляют услуги сельскохозяйственного характера. В структуре чистого дохода (выручке) эти услуги составляют от 1,6% до 24,8%. В основном такие услуги предоставляют хозяйства, которые имеют свыше 100 гектаров сельскохозяйственных угодий и владеют значительным техническим парком (до 6 единиц техники). Например, фермерское хозяйство “Аист” Камянка-Бузького района имеет 4 трактора, из них 2 - до 5 лет эксплуатации, а в структуре выручки от реализации продукции услуги посторонним организациям составляют 19,5%. Таким образом, услуги предоставляются узким кругом фермерских хозяйств. В то же время потребность в таких видах услуг является достаточно большой. Проведенный нами социологический опрос фермеров названных районов, дает основание утверждать, что предоставленные услуги – это в ос-

новном услуги технического характера. Более 90% услуг было предоставлено личным крестьянским хозяйствам, в основном из пахоты земли.

Анкетированием было охвачено 136 фермерских хозяйств четырех районов (68% имеющих хозяйств): в Буском районе – 41 (80,4%), в Золочивском – 32 (57,1%), в Камянка-Бузком – 34 (68%), в Радеховском – 29 (67,4%). Для анкетирования отобранные фермерские хозяйства растениеводческой специализации. Исходя из площадей сельскохозяйственных угодий, они были разделены на три группы: малые (55,1% общего количества), средние (30,1%), большие (15,4%). Как свидетельствуют данные анкетирования, спрос на технические услуги и ремонтные работы является достаточно высоким, а рынок услуг производственно-технического обслуживания на современном этапе начинает активно развиваться.

На вопрос: “Используете ли вы для выполнения сельскохозяйственных работ не личную (постороннюю, привлеченную) технику?” – утвердительно ответило 68% респондентов, из них среди малых хозяйств – 81%. В исключительных случаях такими услугами пользуется 22% респондентов, не пользуется совсем – 10%. Наличие межхозяйственного кооператива как влиятельного фактора, от которого зависит уровень технического обеспечения, признало 62% респондентов, а среди малых хозяйств – 78%. Утвердительно на вопрос о возможности решения проблемы технического обеспечения собственного производства на условиях общего приобретения и использования техники ответило 63%, среди малых хозяйств – 81%.

Согласно опросу, наибольший спрос на услуги в земледелии и из ремонта техники наблюдается в малых фермерских хозяйствах. Именно они больше всего нуждаются в технической помощи в связи с недостаточным количеством технических средств для возделывания почвы, уборки урожая и несовершенной ремонтной базой.

С целью обновления технического парка, улучшения технического обеспечения фермерских хозяйств и увеличения нагрузки техники предлагаем создавать межхозяйственные кооперативы из предоставления технических услуг и агросервиса. Рассмотрим создание таких кооперативных формирований на примере Буского района. С этой целью использован гравитационный подход. Суть этого подхода в экономико-пространственных или территориальных исследованиях сводится к тому, что отдельные ячейки социально-экономической деятельности можно трактовать как размещенные в пространстве массы, которые взаимно влияют одна на другую, взаимно притягиваются и тяготеют. Применение закона гравитации в исследовании влияния социально-экономических сфер является относительно простым использованием закона Ньютона. Проблема сводится к идентификации достоверным физическим величинам социально-экономических характеристик.

В самой распространенной версии модель гравитации выглядит:

$$I_{ij} = G (P_i P_j) / d_{ij}^C \quad (1)$$

где:  $I_{ij}$  – интеракции (то есть величина взаимных контактов между  $i$  и  $j$ );  $P_i$ ;  $P_j$  – масса двух объектов (в нашем случае площадь сельскохозяйственных угодий);  $D_{ij}$  – расстояние между объектами (фермерскими хозяйствами);  $G$  – константа (тяготение);  $C$  – степень мощности, отдаленности (в оригинальной модели принимается равным 2,0).

Приведенный гравитационный подход позволяет определить, что формирование кооперативов фермерских хозяйств должно строиться на таких принципах:

- центром кооператива может быть фермерское хозяйство, которое имеет большие за размерами площади земли в возделывании (или большее количество технических средств),

- расстояние от индивидуального фермерского хозяйства к центру кооператива должно быть меньше, чем расстояние к центру любого другого кооператива (с учетом условий доезда).

По данным государственного предприятия “Гостехнадзор” при Львовской облгосадминистрации, в Буском районе в группе больших предприятий три хозяйства не имеют тракторов, количество тракторов до 10 лет эксплуатации – 10, из них 2 – до 5 лет, до двух лет – ни одного. В группе средних хозяйств в трех хозяйствах трактора отсутствуют, 12 – до 10 лет эксплуатации, 7 – до 5 лет, 6 – до двух лет, в группе малых предприятий в 12 хозяйствах также отсутствуют трактора, 4 трактора, – до 10 лет, из них 2 – до 5 лет, а до двух лет – ни одного. Остальной технический парк – свыше 10 лет эксплуатации.

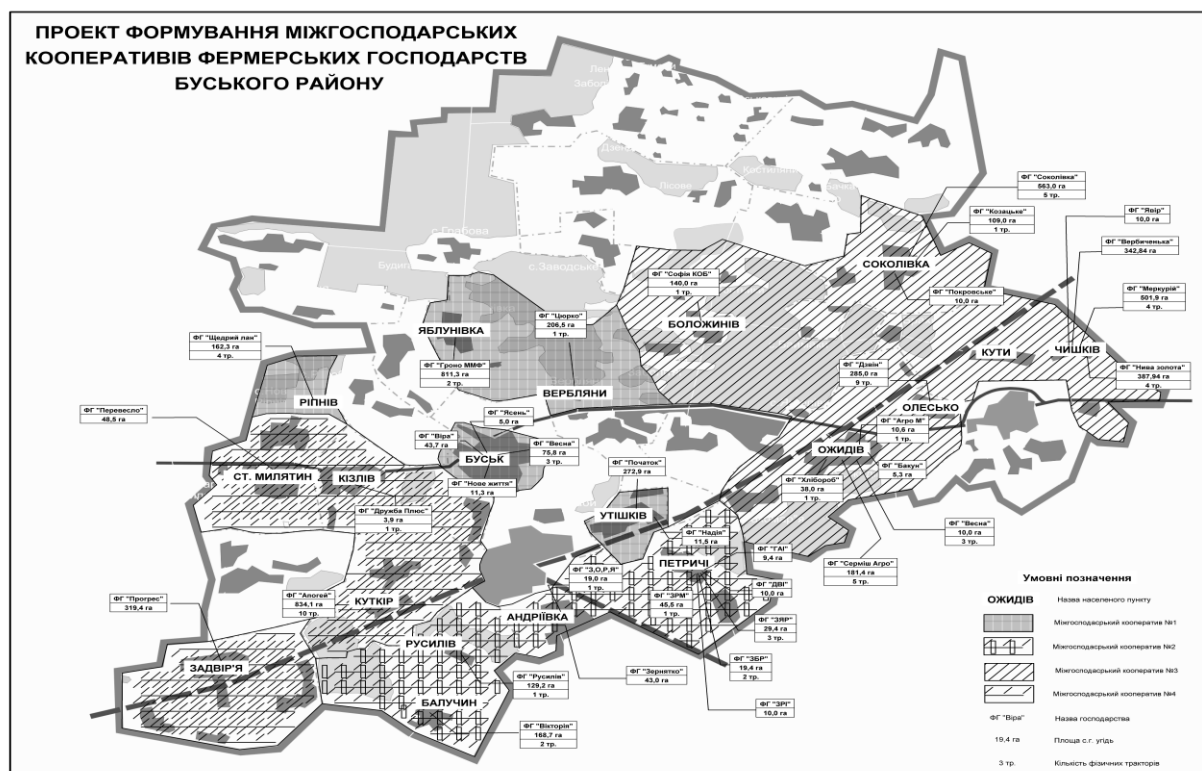
Фермерские хозяйства Буского района характеризуются неравномерностью технического обеспечения. Наиболее технически обеспеченным является фермерское хозяйство “Апогей”, которое имеет 15 единиц техники, из них 10 тракторов. Это хозяйство получает более 618,51 грн. прибыли на 1 гектар. Однако в хозяйстве только 4 трактора со сроком эксплуатации до 10 лет. В фермерском хозяйстве “Звон” есть в наличии 12 единиц техники, из которых 9 трактора. До 10 лет эксплуатации в хозяйстве функционирует только два трактора. Хозяйство получает около 176,3 грн. прибыли на 1 гектар.

В целом в фермерских хозяйствах района функционирует только 25 физических тракторов со сроком эксплуатации до 10 лет, из них только 4 куплены за последние два года. Таким образом, обновление технического парка происходит очень медленно.

Все фермерские хозяйства района растениеводческой специализации (39 фермерских хозяйств) нами разделены на четыре группы с учетом 15-20 км доступного расстояния на перевозку крупногабаритной сельскохозяйственной техники (рис. 1).

О производственно-финансовом состоянии хозяйств каждой кооперативной группы, наличии и потребности их в технических средствах (тракторах и зерноуборочных комбайнов) свидетельствуют данные табл. 1, 2, 3.





**Рис. 1.** Проект формирования межхозяйственных кооперативов фермерских хозяйств Буского района Львовской области

**Fig. 1.** Project of establishment of inter farm cooperatives of farming enterprises in Busk district of Lviv region

**Таблица 1.** Производственно-финансовое состояние фермерских хозяйств растениеводческой специализации Буского района Львовской области, 2013 р.

**Table 1.** Productive-financial conditions of farming enterprises specialized in crop production in Busk district of Lviv region, 2013.

Центры объединений фермерских хозяйств	Количество хозяйств, ед.	Площадь с.-х. угодий, гектаров	Чистый доход (выручка) на 1 гектар с.-х. угодий, грн/гектар	Прибыль на 1 гектар с.-х. угодий, грн/гектар
I. г. Буск	11	1613	3787	42,82
II. с. Андреевка	10	502	3543	121,18
III. с. Ожидив	14	2550	2580	328,20
IV. с. Куткир	4	1202	1771	515,03

**Таблица 2.** Обеспеченность тракторами межхозяйственных кооперативов фермерских хозяйств Буского района Львовской области по обычной технологии, 2013 р.

**Table 2.** Supply of interfarm cooperatives in Busk district of Lviv region with tractors, according to a common technology, 2013.

Показатель	Межхозяйственные кооперативы			
	I	II	III	IV
Названия населенных пунктов	г. Буск с. Утишкив с. Рипнив с. Яблунивка с. Вербляны	с. Андреевка с. Балучин с. Русылив с. Петрычи	с. Ожидив с. Олеско с. Чишкив с. Боложинов с. Соколивка	с. Куткир с. Ст.Мыляты, с.Кизлив с.Задворье
Количество имеющихся тракторов, ед.	10	10	34	11
Приходится тракторов в среднем на одно хозяйство на 100 гектаров с.-х. угодий	0,83	1,0	2,43	2,74
Дополнительная потребность в тракторах, ед.	9	-	-	2

**Таблица 3.** Обеспеченность комбайнами межхозяйственных кооперативов фермерских хозяйств Буского района Львовской области по обычной технологии, 2013 р.

**Table 3.** Supply of interfarm cooperatives in Busk district of Lviv region with harvesters, according to a common technology, 2013.

Показатель	Межхозяйственные кооперативы			
	I	II	III	IV
Названия населенных пунктов	г. Буск с. Утишків с. Рипнів с. Яблунівка с. Вербляны	с. Андреевка с. Балучин с. Русылів с. Петрычи	с. Ожидив с. Олеско с. Чишків с. Боложинов с. Соколивка	с. Куткир с. Ст.Мыляты, с.Кизлив с.Задворье
Площадь пашни, гектаров	1331,8	454,9	1827,4	1008,9
Площадь посевов зерновых, гектаров	287,4	224,4	956,8	567,3
Количество имеющихся зерноуборочных комбайнов, ед.	1	1	7	4
Приходится комбайнов в среднем на одно хозяйство	0,09	0,1	0,5	1
на 100 гектаров посевов зерновых	0,34	0,45	0,73	0,71
Дополнительная потребность в зерноуборочных комбайнах, ед.	2	1	2	1

**Таблица 4.** Инвестиции на приобретение техники в межхозяйственных кооперативах Буского района Львовской области по интенсивной технологии

**Table 4.** Investments for purchase of machinery by interfarm cooperatives in Busk district of Lviv region, according to an intensive technology

Межхозяйственные кооперативы	Площадь с.-х. угодий, гектаров	Удельные инвестиции, грн/гектар	Общая сумма, тыс. грн
I. г. Буск	1613	2040	3290,52
II. с. Андреевка	502	2035	1021,57
III. с. Ожидив	2550	2043	5209,65
IV. с. Куткир	1202	2040	2452,08
Всего	5867	X	11973,82

**Таблица 5.** Источники инвестирования на приобретение техники по интенсивной технологии межхозяйственными кооперативами фермерских хозяйств Буского района Львовской области

**Table 5.** Sources of investment for purchase of machinery by interfarm cooperatives of farming enterprises in Busk district of Lviv region, according to an intensive technology

Инвестиции в приобретение техники и источники финансирования	Межхозяйственные кооперативы			
	I	II	III	IV
Общая сумма, тыс. грн	3290,52	1021,57	5209,65	2452,08
Удешевление техники (30%)	987,16	306,17	1562,89	735,62
Удешевление процентной ставки за кредитами (15%)	493,58	153,23	781,45	367,81
Общая сумма государственной помощи, тыс. грн	1480,74	459,41	2344,34	1103,43
Собственные средства, тыс. грн	1809,78	562,17	2865,31	1348,65
Срок накопления совокупной прибыли для финансирования, лет	26,19	9,24	3,41	2,17

Проектом Концепции комплексной государственной программы реформ и развития сельского хозяйства Украины [17] обосновано целесообразность использования интенсивных технологий производства продукции растениеводства и механизм поддержки сельскохозяйственных производителей, которые согласятся использовать эти технологии.

Поэтому в расчетах количества техники, необходимой для использования в кооперативных межхозяйственных формированиях, примем во внимание удельные инвестиции на 1 гектар за интенсивными технологиями (табл. 4). В проекте Концепции рассчитано среднее значение общих инвестиций на технику на 1 гектар – 2000 грн и обосновано целесообразность внедрения интенсивных технологий в хозяйствах площадью от 500 гектара. Исходя из площади сельскохозяйственных угодий минимальным является объединение фермерских хозяйств с центром в с. Андреевка (502 гектара).

Расчеты приобретения необходимой техники кооперативами проведем с учетом доступных инструментов государственной регуляции: удешевление техники (30%) и удешевление процентной ставки за кредитами (15%). Как видно из приведенных расчетов (табл. 5), даже при такой существенной помощи государства и при условии объединения финансовых ресурсов фермерские хозяйства не в состоянии самостоятельно покупать технику для использования интенсивных технологий. Если для третьего (с. Ожидив) и четвертого (с. Куткир) объединений для полной переоснастки необходимо 3-4 года за счет полного (100%) накопления прибыли для приобретения техники, то для первого (м. Буск) – это вообще нереальное задание.

Исходя из приведенных расчетов, межхозяйственные кооперативы фермерских хозяйств на первом этапе целесообразно создавать только для выполнения агросервисных услуг, что будет существенной помощью фермерским хозяйствам и позволит повысить их покупательную способность, а в дальнейшем покупать необходимую технику с доведением ее до нормативного уровня.

## ВЫВОДЫ

Осуществленное исследование относительно улучшения уровня технической обеспеченности фермерских хозяйств с помощью разных организационно-экономических форм позволяет сделать следующие выводы:

1. Уровень технической оснащенности прежде всего проявляется в высшем уровне механизации сельского хозяйства отдельных его отраслей и производственных процессов, что позволяет расширить параметры сельскохозяйственного производства и увеличить объемы продукции, повышать производительность труда и уменьшать потребность в живом труде, уменьшать потери продукции и зависимость отрасли от атмосферных условий.

2. Техническое обеспечение фермерских хозяйств связаны с двумя группами особенностей:

– особенностью сельского хозяйства как отрасли производства (землей как главным средством производства, естественными условиями и сезонно-

стью производства в сельском хозяйстве, наличием живых организмов),

– особенностью фермерских хозяйств как организационно-правовой формы ведения хозяйства (преимущественно семейный тип ведения хозяйства, незначительные земельные размеры, значительная часть натурального производства).

3. Самостоятельно решить проблему технического обновления производства фермерские хозяйства не могут в силу ограниченности своих ресурсов. Поэтому необходим комплексный подход к решению этой проблемы. Техническое обеспечение фермерских хозяйств нуждается в системном подходе относительно обеспечения государственной поддержки, направленной как на улучшение условий возобновления платежеспособности сельскохозяйственных производителей, так и на внедрение действенных механизмов относительно содействия обновления и наращивания технического обеспечения производства. Нуждается в изменении нормативная база, которая должна учитывать реальное состояние машинно-тракторного парка и потребность предприятий в технике.

4. Существующие программы государственной поддержки являются недостаточными для финансирования кооперативов для полного обновления техники. Поэтому необходимым является определение приоритетности финансовой поддержки государства и этапы финансирования. Повышение уровня обеспеченности фермерских хозяйств сельскохозяйственной техникой, ввиду того, что украинская экономика находится в кризисном состоянии, видится в их непрямой финансовой поддержке. Идет речь, в первую очередь о том, что средства нужно предоставлять не непосредственно фермерам в виде помощи на приобретение необходимой техники, а направлять на цели, которые будут способствовать уменьшению цены на нее и улучшению качественных характеристик. Это уберечь бюджет от значительных расходов на прямое финансирование фермеров, что особенно важно в условиях кризиса, и будет содействовать развитию обеспечения украинских производителей такой техники.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Kischak I., Havrysh V., Kulik A. 2011.** Skladovi zabezpechennya silskogospodarskykh pidpryyemstv tekhnichnymy zasobamy vyrobnytstva. MOTROL. Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. Vol. 13A, 153-159.
2. **Lypchuk V., Kozlova H. 2013.** The development strategies of the farms in Ukraine. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Vol. 15. № 1, 93-96.
3. **Билоуско Я. К., Бурилко В. О., Галушко В. О. 2007.** Проблемы реализации технической политики в агропромышленном комплексе. / Под ред. Билоуска Я. К. К.: ННЦ «Институт аграрной экономики», 216. (Украина).
4. **Бурковский И. Д. 2005.** Улучшение технического обслуживания аграрного сектора экономики. Экономика АПК. № 9, 19-23. (Украина).

5. **Васильченко В. Синько В. 2006.** Один трактор на троих. Формы использования сельскохозяйственной техники: мировой опыт для Украины. *Зерно*. № 9, 86-90. (Украина).
6. **Гнатышин Л.Б. 2012.** Нормативные методы определения потребности фермерских хозяйств в технических средствах. *Научный вестник национального лесотехнического университета Украины: сборник научно-технических трудов*. Вып. 22.4. 134-139. (Украина).
7. **Горевой В.П. 2007.** Развитие производственно-технического обслуживания предприятий АПК. *Вестник аграрной науки*. № 11, 59-64. (Украина).
8. **Колодийчук М.Т., Колодийчук А.А., Прокопышин О.С. 2004.** Влияние сельскохозяйственной техники на экологическую безопасность естественной среды. *Вестник Львовского государственного аграрного университета: агроинженерные исследования*. № 8. 131 – 136. (Украина).
9. **Кононенко М.П., Марченко В.В. 2008.** Аспекты методики определения потребности в технических средствах на базе технологий производства сельскохозяйственных культур. *Аграрная техника*. № 2(3). 74 – 81.
10. **Коробка С.В. 2007.** Материально-техническое обеспечение развития малого предпринимательства. *Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства: экономические науки*. Вип. 56, 116-123. (Украина).
11. **Лыпчук В.В., Прокопышин О.С., Гнатышин Л.Б. 2012.** Состояние, проблемы и пути улучшения технической обеспеченности фермерских хозяйств. *Львов: Сполом*, 224. (Украина).
12. **Лыпчук В.В., Гнатышин Л.Б. 2014.** Диагностика воспроизводства потенциала в управлении фермерских хозяйств Украины. – *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in agriculture*. Vol. 16. № 4, 173-180.
13. **Лыпчук В.В., Гнатышин Л.Б. 2013.** Уровень механизации производственных процессов в фермерских хозяйствах в контексте уравновешенного развития. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in agriculture*. Vol. 15. № 4, 126-133.
14. **Мармуль Л.О. 2007.** Материально-техническое обеспечение региональных АПК. *Экономика АПК*. № 2, 11-19. (Украина).
15. **Месель-Веселяк В.Я. 2006.** Развитие форм ведения хозяйства в аграрном секторе Украины (результаты, проблемы). *Экономика АПК*. № 12, 34-41. (Украина).
16. **Пидлисецкий Г.М., Товстопят В.Л. 2008.** Экономические проблемы технического обеспечения сельского хозяйства. *Экономика Украины*. № 11, 81-87. (Украина).
17. Проект концепции комплексной государственной программы реформ и развития сельского хозяйства Украины (2010). Available online at: <http://www.minagro.gov.ua>.
18. **Саблук П.Т., Месель-Веселяк В.Я., Федоров М.М. 2009.** Аграрная реформа в Украине (достижения, проблемы и пути ее решения). *Экономика АПК*. № 12, 3-13. (Украина).
19. **Черевко Г., Горбонос Ф., Савицкая О. 1994.** Фермерская кооперация в развитых странах. *Экономика Украины*. № 11, 69-73. (Украина).
20. **Шульский М.Г. 2004.** Фермерство: проблемы становления и развития. *Львов*, 392. (Украина).

#### ORGANIZATIONAL-ECONOMIC FORMS OF TECHNICAL SUPPLY OF FARMING ENTERPRISES

**Summary.** Peculiarities of technical supply of farming enterprises are connected with two groups of characteristics, i.e. specifics of agriculture as a branch of production (land as the main means of production, natural conditions and seasonal character in agriculture, presence of living organisms); peculiarity of farms as an organizational-legal form of economic activity (mostly family type of farming, small land area, considerable share of natural production).

In our opinion, to solve the problem of machinery purchase, its maintenance and increase of efficiency at farming enterprises in Lviv region it is reasonable to apply common use of machinery. Common interfarm use of machine-tractor park can be developed in the following ways: cooperation for supply of production services of cooperative's members to get maximum profit from invested capital, contributing to growth of profit of the cooperative's members; organization of economic relations on the base of an agreement of mutual services provision. However, after term of the agreements is over, they are broken or changed without consideration of the agricultural producers' interests.

Cooperative machinery formations consider interests of farmers best of all. In such formation farmers are both founders and members of the cooperative, having right to get technical services, determined by them according to the existing productive capabilities, to manage the obtained profit, avoiding additional taxes. Financing of establishment of such organizational structure is based on application of common capital of farmers.

Calculation of purchase of the required machinery by cooperative formations in Busk district of Lviv region with consideration of available instruments of state regulation, i.e. lowering of price for machinery (30%) and lowering of interest rate on credits (15%), proves that even such substantial help of the state and in case of common financial resources, farms are not capable to purchase machinery by themselves for application of intensive technologies. Thus, at the 1<sup>st</sup> stage interfarm cooperatives of farming enterprises should be established only for making of agroservices, providing substantial help for farms and enabling increase of their purchasing capacity, as well as future buying of machinery, which is necessary for getting a normative level. The existing programs of state support are not sufficient for financing of interfarm cooperatives to make complete substitution of machinery. Thus, it is needed to determine a priority of financial support and stage character of financing.

**Key words:** agriculture, farm enterprises, technical supply, agricultural machinery, norms of technical supply.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ И ОПЕРАТОРНЫХ ИНДУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОХОДНОГО ВНУТРЕННЕГО КОЛЬЦЕВОГО ВИХРЕТОКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В ПРОВОДЯЩЕЙ ТРУБЕ

*Андрей Яцун*

*Львовский национальный аграрный университет  
Ул. В. Великого, 1, Дубляны, Украина. E-mail: yam2002@yandex.ru*

*Andriy Yatsun*

*Lviv National Agrarian University  
St. Vladimir the Great 1, Dubliany, Ukraine. E-mail: yam2002@yandex.ru*

**Аннотация.** Вследствие значительной степени изношенности и старения оборудования отечественного нефтегазового комплекса вопрос мониторинга технического состояния трубопроводов для обеспечения надежности и безопасности снабжения энергоносителей (природного газа) магистральными трубопроводами приобретает все большую актуальность.

Основной задачей технического диагностирования трубопроводов является определение фактической толщины стенки трубопровода и выявления дефектов типа нарушение цельности. Наиболее эффективным для проведения работ из технического диагностирования за всей длиной трубопровода с минимальными простоями в работе трубопровода является осуществление внутренне-трубной диагностики с использованием интеллектуальных поршней, которые движутся под напором транспортированного продукта. Однако такой метод диагностики требует усовершенствования для обеспечения более высокой достоверности и точности контроля.

Преимуществами вихретокового метода контроля является бесконтактность, отсутствие остаточных магнитных эффектов и возможность обнаружения поверхностных трещин с малым раскрытием и дефектами расслоения металла трубопровода.

Поэтому актуальной является задача определения операторных и переходных параметров внутренних проходных вихретоковых преобразователей параметрического и трансформаторного типов при импульсном питании для получения многопараметровой информации об объекте контроля.

При контроле геометрических размеров, дефектов и физико-механических параметров электропроводных материалов, деталей и изделий (труб) импульсным вихретоковым методом информативными параметрами первичного преобразователя являются его внесенные переходные собственная и взаимная индуктивности обмотки возбуждения и измерительной обмотки и их чувствительности к параметрам объекта контроля.

Получены выражения для собственной и взаимной операторной (преобразованной по Лапласу) и

переходной основной и внесенной индуктивностей обмотки возбуждения проходного экранированного кольцевого первичного преобразователя прямоугольного поперечного сечения внутри контролируемой проводящей трубы с током произвольной формы, которая используется в качестве первичного преобразователя, для диагностирования технического состояния внутренней поверхности трубопроводов.

На основе характерных значений операторных индуктивностей предложено их приближенное численное обратное преобразование Лапласа для получения переходных внесенных индуктивностей.

Полученные результаты целесообразно использовать для определения информативных величин первичной измерительной цепи с проходным первичным вихретоковым преобразователем и их чувствительностей к параметрам и дефектам объекта контроля с целью развязки многопараметровой информации.

**Ключевые слова:** вихретоковый, преобразователь, переходной, проводящий, индуктивность.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Вопрос мониторинга технического состояния трубопроводов для обеспечения надежности и безопасности снабжения энергоносителей (природного газа) магистральными трубопроводами приобретает все большую актуальность вследствие значительной степени изношенности и старения оборудования отечественного нефтегазового комплекса.

Основной задачей технического диагностирования трубопроводов является установление фактической толщины стенки трубопровода и выявления дефектов типа нарушение цельности. Наиболее эффективным для проведения работ из технического диагностирования по всей длине трубопровода с минимальными простоями в работе трубопровода есть осуществление внутренне-трубной диагностики с использованием интеллектуальных поршней, которые двигаются под напором транспортированного продукта. Однако внутренне-трубная диагностика с использованием магнитных поршней [1],

требует усовершенствования, для обеспечения более высокой достоверности и точности контроля.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В [2] получены выражения в операторной форме для векторного потенциала магнитного поля проходного кольцевого экранированного вихретокового первичного преобразователя прямоугольного поперечного сечения параметрического и трансформаторного типов в проводящей трубе (объект контроля, рис. 1), которые дают возможность перейти к определению параметров такого преобразователя.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При контроле геометрических размеров, дефектов и физико-механических параметров электропроводных материалов, деталей и изделий (труб) импульсным вихретоковым методом информативными параметрами первичного преобразователя являются его внесенные переходные собственная и взаимная индуктивности обмотки возбуждения и измерительной обмотки [2] и их чувствительности к параметрам объекта контроля с целью выявления и выбора оптимальных моментов времени и информативных величин для развязки многопараметровой информации.

Преимуществами вихретокового метода контроля является бесконтактность, отсутствие остаточных магнитных эффектов и возможность обнаруживать поверхностные трещины с малым раскрытием и дефекты расслоения металла трубопровода.

Поэтому актуальной является задача определения операторных и переходных параметров внутренних проходных вихретоковых преобразователей параметрического и трансформаторного типов при импульсном питании для получения многопараметровой информации об объекте контроля.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

На рис. 1 представлена расчетная модель экранированного вихретокового первичного преобразователя параметрического и трансформаторного типов внутри контролируемой трубы.

Здесь и в нижеприведенных выражениях приняты следующие обозначения:

$\mu_0$  – магнитная постоянная;

$\mu_r$  – относительная магнитная проницаемость;

$\gamma$  – удельная электрическая проводимость;

$d$  – толщина контролируемой трубы;

$\gamma_1$  – удельная электрическая проводимость внутри трубы;

$\gamma_3$  – удельная электрическая проводимость снаружи трубы;

$r_1$  – внутренний радиус обмотки возбуждения;

$r_2$  – внешний радиус обмотки возбуждения;

$r_3$  – внутренний радиус измерительной обмотки;

ки;

$r_4$  – внешний радиус измерительной обмотки;

$a_1$  – ширина обмотки возбуждения;

$b_1$  – высота обмотки возбуждения;

$a_2$  – ширина измерительной обмотки;

$b_2$  – высота измерительной обмотки;

$r_5$  – внутренний радиус трубы;

$r_6$  – внешний радиус трубы;

$h_1$  – нижняя ордината измерительной обмотки;

$h_2$  – верхняя ордината измерительной обмотки;

$R$  – радиус экрана;

$H$  – высота экрана;

1, 2, 3 – области пространства, ограниченного экраном;

$r, z$  – оси координат.

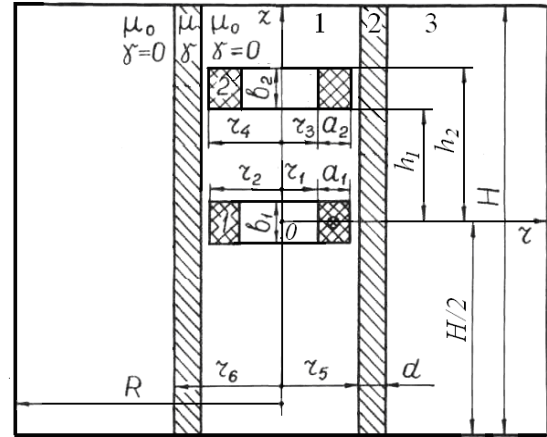


Рис. 1. Расчетная модель экранированного вихретокового первичного преобразователя параметрического и трансформаторного типов внутри контролируемой трубы

Fig. 1. Settlement model of screen eddy-current primary transducer of parametrical and transforming types in a controllable pipe

Собственная операторная индуктивность обмотки возбуждения преобразователя определяется выражением

$$L_1(p) = \frac{2\pi W_1^2}{a_1^2 b_1^2 \delta_{01}} \int_{-b_1/2}^{b_1/2} dz \int_{r_1}^{r_2} r \tilde{A}_1 dr = L_{10} + L_{1e}(p), \quad (1)$$

где:  $W_1$  – количество витков обмотки возбуждения;

$\tilde{\delta}_{01}$  – преобразованная по Лапласу плотность тока в

обмотке возбуждения;  $\tilde{A}_1$  – векторный потенциал

магнитного поля, определенный в [2];  $L_{10}$  – соб-

ственная индуктивность одинокой экранированной

обмотки преобразователя (основной);  $L_{1e}(p)$  – вне-

сенная операторная индуктивность, обусловленная

наличием объекта контроля (трубы).

В области 1 (внутри трубы)  $\tilde{A}_1(p)$  определяются

выражением [2]:

$$\tilde{A}_1 = \mu_0 \tilde{\delta}_{01} \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{a_{i1} b_{k01}}{i^2 + m_k^2} J_1(n_i r) \cos m_k z + \tilde{\delta}_{01} \sum_{k=1}^{\infty} C_{11} I_1(p_1 r) \cos m_k z, \quad (2)$$

то есть, в пределах высоты обмотки возбуждения ( $-b_1/2 \leq z \leq b_1/2$ ):

$$\begin{aligned} \tilde{A}_1 = & \mu_0 \tilde{\delta}_{01} \sum_{i=1}^{\infty} a_{i1} J_1(n_i r) \frac{1}{n_i^2 \operatorname{ch}(n_i H/2)} \times \\ & \times [\operatorname{ch} n_i (H/2) - \operatorname{ch} n_i ((H - b_1)/2) \operatorname{ch} n_i z] + \\ & + \tilde{\delta}_{01} \sum_{k=1}^{\infty} C_{11} I_1(p_1 r) \cos m_k z, \end{aligned} \quad (3)$$

а в пределах измерительной обмотки ( $b_1/2 \leq z \leq H/2$ )

$$\begin{aligned} \tilde{A}_1 = & \mu_0 \tilde{\delta}_{01} \sum_{i=1}^{\infty} a_{i1} J_1(n_i r) \frac{1}{n_i^2 \operatorname{ch}(n_i H/2)} \times \\ & \times [\operatorname{sh} n_i (b_1/2) \operatorname{sh} n_i (H/2 - z)] + \\ & + \tilde{\delta}_{01} \sum_{k=1}^{\infty} C_{11} I_1(p_1 r) \cos m_k z \end{aligned}, \quad (4)$$

где:  $a_{i1} = \frac{2Y_1}{R^2 J_0^2(\lambda_i)}$  – коэффициент ряда Фурье–

Бесселя функции  $f_1(r) = 1$  при  $r_1 \leq r \leq r_2$  и  $f_1(r) = 0$  при  $0 \leq r \leq r_1$  и  $r_2 \leq r \leq R$ , разложенной в промежутке

$(0, R)$ ;  $Y_1 = \int_{r_1}^{r_2} J_1(n_i r) r dr$ ;  $J_0$  – функция Бесселя первого

рода нулевого порядка;  $J_1$  – функция Бесселя первого рода первого порядка;  $n_i = \lambda_i/R$ ;  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_i, \dots$  – корни уравнения  $J_1(\lambda) = 0$ ;

$b_{k01} = \frac{4}{H} \int_0^{b_1/2} \cos m_k z dz = \frac{4}{m_k H} \sin \frac{m_k b_1}{2}$  – коэффициент

ряда Фурье функции  $f_2(z) = 1$  при  $-b_1/2 \leq z \leq b_1/2$  и  $f_2(z) = 0$  при  $-H/2 \leq z \leq -b_1/2$  и  $b_1/2 \leq z \leq H/2$ , разложенной в промежутке  $(-H/2, H/2)$ ;  $m_k = (2k-1)\pi/H$ ;  $I_1$  – модифицированная цилиндрическая функция Бесселя первого порядка первого рода;  $p_1^2 = m_k^2 + p\gamma_1\mu_0$ .

После подстановки (3) в (1) и интегрирования получим:

$$\begin{aligned} L_{10} = & \frac{4\pi\mu_0 W_1^2}{a_1^2 b_1^2} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{Y_1^2}{\lambda_i^2 J_0^2(\lambda_i)} \times \\ & \times \left[ b_1 - \frac{2\operatorname{ch} n_i ((H - b_1)/2) \operatorname{sh} n_i (b_1/2)}{n_i \operatorname{ch}(n_i H/2)} \right], \end{aligned} \quad (5)$$

и

$$L_{1b}(p) = \frac{4\pi W_1^2}{a_1^2 b_1^2} \sum_{k=1}^{\infty} C_{11} Y_3 \sin m_k (b_1/2) / m_k, \quad (6)$$

где:  $Y_3 = \int_{r_1}^{r_2} I_1(p_1 r) r dr$ .

Аналогично взаимная операторная индуктивность между обмоткой возбуждения и измерительной обмоткой преобразователя определяется выражением:

$$M(p) = \frac{2\pi W_1 W_2}{a_1 b_1 a_2 b_2 \tilde{\delta}_{01}} \int_{h_1}^{h_1+b_2} dz \int_{r_3}^{r_4} r \tilde{A}_1 dr = M_0 + M_\epsilon(p), \quad (7)$$

где:  $M_0$  – взаимная индуктивность между обмотками преобразователя при отсутствии объекта кон-

троля (основная);  $M_\epsilon(p)$  – взаимная внесенная операторная индуктивность, обусловленная наличием объекта контроля.

После подстановки (3) в (4) и интегрирования получим:

$$M_0 = \frac{4\pi\mu_0 W_1 W_2}{a_1 b_1 a_2 b_2} \sum_{i=1}^{\infty} \frac{Y_1 Y_2 \operatorname{sh} n_i (b_1/2)}{n_i \lambda_i^2 J_0^2(\lambda_i) \operatorname{ch}(n_i H/2)} \times \\ \times [\operatorname{ch} n_i (H/2 - h_1) - \operatorname{ch} n_i (H/2 - h_1 - b_2)] \quad (8)$$

или

$$M_0 = \frac{8\pi\mu_0 W_1 W_2}{a_1 b_1 a_2 b_2} \times \\ \sum_{i=1}^{\infty} \frac{Y_1 Y_2 \operatorname{sh} n_i (b_1/2) \operatorname{sh} n_i (b_2/2) \operatorname{sh} n_i (H/2 - h_1 - b_2/2)}{n_i \lambda_i^2 J_0^2(\lambda_i) \operatorname{ch}(n_i H/2)} \quad (8')$$

и

$$M_b(p) = \frac{2\pi W_1 W_2}{a_1 b_1 a_2 b_2} \times \\ \times \sum_{k=1}^{\infty} C_{11} Y_4 [\sin m_k (h_1 + b_2) - \sin m_k h_1] / m_k, \quad (9)$$

или

$$M_b(p) = \frac{4\pi W_1 W_2}{a_1 b_1 a_2 b_2} \times \\ \times \sum_{k=1}^{\infty} C_{11} Y_4 \sin m_k (b_2/2) \cos m_k (h_1 + b_2/2) / m_k, \quad (9')$$

где:  $W_2$  – количество витков измерительной обмот-

ки;  $Y_2 = \int_{r_3}^{r_4} J_1(n_i r) r dr$ ;  $Y_4 = \int_{r_3}^{r_4} I_1(p_1 r) r dr$ ;

$$C_{11} = \frac{D_1 S_5 - \mu_r D_2 S_6}{\mu_r p_1 S_6 I_0(p_1 r_5) - S_5 I_1(p_1 r_5)},$$

$$S_1 = I_0(p_3 r_6) K_1(p_3 R) + I_1(p_3 R) K_0(p_3 r_6),$$

$$S_2 = I_1(p_3 r_6) K_1(p_3 R) - I_1(p_3 R) K_1(p_3 r_6),$$

$$S_3 = K_1(p_3 R) [q S_2 I_0(p_2 r_6) - S_1 I_1(p_2 r_6)],$$

$$S_4 = K_1(p_3 R) [q S_2 K_0(p_2 r_6) + S_1 K_1(p_2 r_6)],$$

$$S_5 = p_2 [S_4 I_0(p_2 r_5) - S_3 K_0(p_2 r_5)],$$

$$S_6 = S_4 I_1(p_2 r_5) + S_3 K_1(p_2 r_5),$$

$$D_1 = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{2\mu_0 Y_1 b_{k01} J_1(n_i r_5)}{R^2 J_0^2(\lambda_i) (n_i^2 + m_k^2)},$$

$$D_2 = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{2\mu_0 n_i Y_1 b_{k01} J_0(n_i r_5)}{R^2 J_0^2(\lambda_i) (n_i^2 + m_k^2)},$$

$$q = \frac{\mu_0 p_2}{\mu_r p_3} = \frac{p_2}{\mu_r p_3},$$

где:  $I_0$  и  $K_0$  – модифицированные цилиндрические функции Бесселя нулевого порядка:

$$p_2^2 = m_k^2 + p\gamma\mu,$$

$$p_3^2 = m_k^2 + p\gamma_3\mu_0.$$

Внесенная операторная (по Лапласу) индуктивность (6) аппроксимируется выражением [3]:

$$L'_{1\epsilon}(p) = \frac{L_{1\epsilon k}}{p} + \frac{L_{1\epsilon 0} - L_{1\epsilon k}}{p + \delta} + \frac{\Delta L_{1\epsilon}}{(p + \delta_1)^{\alpha_1}}, \quad (10)$$



где:  $L_{1\epsilon 0}$ ,  $L_{1\epsilon k}$  и  $\Delta L_{1\epsilon}$  – соответственно начальное, конечное и приближенное значение внесенной индуктивности обмотки возбуждения;  $\delta$  и  $\delta_1$  – коэффициенты затухания (основного и первого приближения);  $\alpha_1$  – показатель степени.

Эти величины и коэффициенты являются информативными относительно параметров контроля.

Коэффициент  $\Delta L_{1\epsilon}$ , коэффициент затухания  $\delta_1$  и показатель степени  $\alpha_1$  в выражении (10) определяются из системы трех уравнений, которые выражают совпадение кривых  $L_{1\epsilon}(p)$  и  $L'_{1\epsilon}(p)$  в трех точках:  $p_{j-1}$ ,  $p_j$  и  $p_{j+1}$ , причем в точке с абсциссой  $p_j$  функция:

$$\varphi(p) = L_{1\epsilon}(p) - \frac{L_{1\epsilon k}}{p} - \frac{L_{1\epsilon 0} - L_{1\epsilon k}}{p + \delta},$$

принимает по модулю максимальное значение. Тогда сначала определяется  $\delta_1$  из уравнения:

$$\begin{aligned} \ln \frac{\varphi(p_j)^2}{\varphi(p_{j+1})\varphi(p_{j-1})} \ln \frac{p_j + \delta_1}{qp_j + \delta_1} &= \\ = \ln \frac{\varphi(p_{j+1})}{q\varphi(p_j)} \ln \frac{(p_j + q\delta_1)(qp_j + \delta_1)}{q(p_j + \delta_1)^2}, \end{aligned}$$

а потом

$$\alpha_1 = \frac{\ln \frac{\varphi(p_{j+1})}{q\varphi(p_j)}}{\ln \frac{p_j + \delta_1}{qp_j + \delta_1}}, \quad (11)$$

и  $\Delta L_{1\epsilon} = \varphi(p_j)(p_j + \delta_1)^{\alpha_1} / p_j$ .

Для получения переходных внесенных индуктивностей необходимо перейти от их изображений по Лапласу к оригиналам, то есть осуществить численное обратное преобразование Лапласа. Тогда, преобразовывая (10), для внесенной собственной индуктивности обмотки возбуждения получим:

$$L_{1\epsilon}(t) = L_{1\epsilon k} + (L_{1\epsilon 0} - L_{1\epsilon k})e^{-\delta t} + \frac{\Delta L_{1\epsilon}}{\Gamma(\alpha_1)} t^{\alpha_1 - 1} e^{-\delta_1 t}, \quad (12)$$

где:  $\Gamma(x)$  – гамма-функция.

## ВЫВОДЫ

1. Получены выражения для собственной и взаимной операторной (преобразованной по Лапласу) и переходной основной и внесенной индуктивностей обмотки возбуждения проходного экранированного кольцевого первичного преобразователя прямоугольного поперечного перереза внутри контролируемой проводящей трубы с током произвольной формы, которая используется в качестве первичного преобразователя для диагностирования технического состояния внутренней поверхности трубопроводов.

2. Полученные результаты целесообразно использовать для определения информативных величин первичной измерительной цепи с проходным первичным вихретоковым преобразователем и их чувствительностей к параметрам и дефектам объекта контроля.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Pipeline Inspection Technologies Demonstration Report. 2004.** Gas Research Institute, 98.
2. **Яцун А.М. 2014.** Векторный потенциал магнитного поля проходного кольцевого вихретокового первичного преобразователя параметрического и трансформаторного типов в проводящей трубе. Motrol. Lublin-Pzeszów. vol. 16. No 4, 167–172.
3. **Яцун М.А., Яцун А.М. 2009.** Собственная и взаимная переходные индуктивности накладного вихретокового преобразователя. Энергетические и электромеханические системы. № 654, 280–285. (Украина).
4. **Яцун А.М. 2011.** Пульсации токов в обмотке статора асинхронного двигателя при наличии дефектов в стержнях клетки ротора. Motrol. Lublin. vol. 13D, 203–209. (Украина).
5. **Яцун А.М. 2013.** Мощность потребления и фазовый сдвиг между напряжением и током накладного кольцевого экранированного преобразователя над проводящей пластиной. Motrol. Lublin-Pzeszów. vol. 15 No 4, 206–211.
6. **Скоклюк М.И., Яцун А.М., Яцун М.А. 1997.** Собственная и взаимная индуктивности цилиндрических соосных обмоток на ферромагнитном сердечнике. Энергетические и электромеханические системы. № 301, 94–102. (Украина).
7. **Яцун М.А. 1983.** Разработка теории экранированных вихретоковых преобразователей и их применение для контроля труб нефтяного сортамента. Ивано-Франковск, 374.
8. **Анго А. 1967.** Математика для электро- и радиоинженеров. М.: Наука, 780.
9. **Шубочкин А.Е. 2014.** Развитие и современное состояние вихретокового метода неразрушающего контроля. М.: ООО “Издательский дом “Спектр”, 288.
10. **Клюев В.В. 2003.** Неразрушающий контроль. Т.2. М.: Машиностроение, 688.
11. **Сухоруков В.В. 1992.** Неразрушающий контроль. Т.3. М.: Высшая школа, 320.
12. **Шарп Р. 1972.** Методы неразрушающих испытаний. М.: Мир, 496.
13. **Федоров В.В. 1971.** Теория оптимального эксперимента. М.: Наука, 378.
14. **Финни Д.В. 1970.** Введение в теорию оптимального эксперимента. М.: Наука, 243.
15. **Muzhitsky V.F., Karabtchewski V.A. 2002.** Computerized Eddy Current Flaw Detector VD-89NM with Higher Reliability of Detection and Danger Level estimation of Stress-corrosion cracks when Inspecting Gas Pipeline under Stress-Corrosion. Pipeline & Gas Journal. Vol. 2, 35–44.
16. **Teisma A. 2004.** Technical Assessment Report Technology Assessment for Delivery Reliability for Natural Gas. Gas Technology Institute, 56.
17. **Schmidt T.R., Atherton D.L., Sullivan S. 1988.** Experience with the Remote Field Eddy Current Technique. Proc. of 3rd Nat. Sem. On Nondestructive Evaluation of Ferromagnetic Materials, Houston, March 23–25th, 89–97.

18. Atherton D.L., Clapham L., Czura W., Mergelas B.J., Smith S., Winslow J., Zhang Y. 1995. Remote Field Eddy Current Defect Interaction, GRI Final Report GRI-95/0506. December. Gas Research Institute, 125.
19. **Delivery Reliability for Natural Gas – Inspection Technologies.** 2005. Technical Semiannual Progress Report DE-FC26-04NT42266. Gas Technology Institute, 215.
20. Рабинович С.Г. 1978. Погрешности измерений. Л.: Энергия, 262.
21. Шу Л., Сон-Линь Х., Вей Ж., Ю. Пенг. 2008. Уменьшение чувствительности к влиянию зазора при контроле импульсным вихретоковым методом с использованием двухступенчатых дифференциальных датчиков. Дефектоскопия. № 2, 84–93.
22. Morris R.A. 1975. Quantitative Pulsed Eddy Current Analysis. Proc. of the 10th Symposium on NDE, 90–97.
23. Лисенко Ю.Ю., Куц Ю.В. 2012. Исследование импульсного режима возбуждения вихретоковых преобразователей. НК и техническая диагностика UkrNDT–2012, 439. (Украина).
24. Лисенко Ю.Ю., Куц Ю.В., Щербак Л.М. 2013. Статическая фазометрия. Вестн. ТГУ им. И. Пулюя, 383. (Украина).
25. Дорофеев А. Л., Казаманов Ю. Г. 1980. Электромагнитная дефектоскопия. М.: Машиностроение, 232.
26. Синеглазов В.М., Вовк В.Г. 2000. Математическое моделирование процесса вихретокового контроля. Техническая диагностика и неразрушающий контроль. № 4, 26–29.
27. Цеховський М.В., Кошовый М.Д., Гаевый В.О. 2004. Вихретоковый преобразователь, построенный на элементах Холла. Вестн. ХГТУсх им. Петра Василенка. Вип. 27. Т.2, 194–197. (Украина).
28. Цеховський М.В., Кошевой Н.Д., Дергачев К.Ю., Кухар А.Н. 2007. Разработка и исследование вихретокового преобразователя. Сб. ОНДИ ВС. Вып. 1(6), 235–239. (Украина).
29. Цеховський М.В., Кошевой Н.Д., Шевченко Т.А. 2002. Использование методов планирования эксперимента для получения оптимальных свойств антифрикционных покрытий. ИКТМ–2002, 200.
30. Цеховський М.В. 2003. Использование датчиков Холла для измерения толщины диэлектрических покрытий на металлических поверхностях. ИКТМ–2003, 179. (Украина).
31. Цеховський М.В. Кошовый М.Д. 2003. Проблемы проектирования накладного электромагнитного преобразователя устройства для измерения толщины диэлектрических покрытий на металлических поверхностях. “Приборостроение–2003”, 59–60. (Украина).
32. Цеховський М.В. Кошовый М.Д., Гаевой В.А. 2004. Измеритель толщины диэлектрических покрытий на основе датчиков Холла. “Приборостроение–2004”, 77–80.

DETERMINATION OF TRANSITIONAL AND OPERATIONAL INDUCTIVE PARAMETERS OF INTERNAL OF EDDY CURRENT OF RING TRANSDUCER IN A CONDUCTIVE PIPE

**Summary.** The question of monitoring of the technical state of main pipelines for reliability and safety of power mediums (natural gas) transporting acquires the greater actuality because of considerable degree of wearing out and aging of equipment of home oil and gas complex.

The basic task of the technical diagnosing of pipelines is to determine of actual thickness of pipeline wall and to reveal the violation of wholeness defects. The inwardly-pipe diagnostics with the use of intellectual pistons that move under pressure of the transported product is most effective for the technical diagnosing along all length of pipeline with minimum outages in process of pipeline. However such method of diagnostics requires an improvement for ensuring of higher trustworthiness and exactness of control.

Advantages of vortex-current method of control are next: a contact free, absence of remaining magnetic effects and possibility of finding out the superficial cracks with the small opening and defects of metal exfoliation of pipeline. Therefore, a task of determination of statement/operator and transitional parameters of internal thru vortex-current converters of self-reactance and transformer types at an impulsive feed for the obtaining of multi indices information about the object of control is actual.

At control of geometrical sizes, defects and physical and mechanical parameters of conducting materials, details and pipes by an impulsive vortex-current method the informing parameters of primary converter are following: induced transitional own and mutual inductance of field magnetizing coil and test coil and their meter sensitivity to the parameters of control object.

The expressions are got for own and mutual statement (regenerate on Laplace) and transitional basic and induced inductance of field magnetizing coil of thru screened circular primary converter of rectangular cross-sectional into the controlled conducting pipe with the current of free-form that is used as a primary converter, for diagnosing of the technical state of internal surface of pipelines.

On the basis of characteristic values of statement inductances their close numeral reverse Laplace transformation are proposed in order to get the induced transitional inductances.

Obtained results are expedient to use on for determination of informing sizes of primary measuring chain with a transitional primary vortex-current converter and their meter sensitivity to the parameters and defects of control object with the purpose of solution of multi indices information task.

**Key words:** eddy current, transformer, transitional, conductive, inductance.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА НА ПРИМЕРЕ КОМПАКТНЫХ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП

*Степан Химка, Маркиян Гошко*

*Львовский национальный аграрный университет  
Вул. В. Великого 1, Дубляны, Украина. E-mail: stepan-himka@ukr.net*

*Stepan Khimka, Markijan Goshko*

*Lviv National Agrarian University  
St. Vladimir the Great 1, Dubliany, Ukraine. E-mail: stepan-himka@ukr.net*

**Аннотация.** В статье рассмотрено вопрос исследования характеристик современных источников света на примере компактных люминесцентных ламп (КЛЛ).

Проблема экономии электроэнергии (ЭЭ) приобрела за последние годы исключительное значение, в частности на освещение. В большинстве развитых стран мира как путь снижения потребления ЭЭ на освещение рассматривают замену ламп накаливания (ЛН) на КЛЛ.

КЛЛ – перспективные энергоэкономичные лампы, но значительная часть ламп, поступающих на внутренний рынок Украины не соответствуют задекларированным светотехническим и электрическим параметрам. Нами было исследовано КЛЛ торговых марок «Osram», «Lumax», «Svoya» на соответствие задекларированных светотехнических и электротехнических параметров.

Приведенные результаты исследования свидетельствуют о том, что среди исследованных партий ламп среднее значение активной мощности по всем представленным производителям не соответствует заявленной мощности на упаковке.

На основе проведенных опытов также определяли зависимость освещенности  $E$ , лк от напряжения питания  $U$ , В. На основе этого исследования можно констатировать, что в большинстве ЛЛ при изменении напряжения питания в пределах 180 -240 В освещенность КЛЛ изменяется пропорционально, примерно на 1% ( $\pm 0,2\%$ ) с изменением напряжения на 1%.

Как мы увидели из исследования, заявленная мощность исследованных торговых марок КЛЛ не соответствует экспериментальным данным, в некоторых случаях превышает более 6% – КЛЛ (Svoya), хотя нужно отметить, что порой она оказалась ниже, чем заявленная – КЛЛ (Lumax, Osram) соответственно – 4,44 и – 11,4%.

Значительным недостатком КЛЛ, поступающих на рынок Украины, является невысокий коэффициент мощности, который колеблется в пределах 0,606-0,74 дополнительно уменьшает технико-экономические показатели электроснабжения, а также увеличивает потери электроэнергии.

**Ключевые слова:** источники света, освещение, компактные люминесцентные лампы, световая отдача, коэффициент мощности.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

На сегодня на освещение в промышленности Украины тратят до 20% электроэнергии от ее общего потребления. Стоимость электроэнергии в последние годы существенно возросла, и эта тенденция продолжается. Проблема ЭЭ приобрела за последние годы исключительное значение, в частности на освещение. В большинстве индустриальных стран мира рассматривают как магистральный путь снижения потребления ЭЭ на освещение из-за замены ЛР на КЛЛ. Световая отдача ( $\eta$ ) современных КЛЛ в 4-5 раз превышает этот параметр для ЛР, а продолжительность горения в 8-15 раз [1-8]. Однако сегодня не только в развивающихся странах, но и в индустриальных странах, наиболее массовыми как в жилом секторе, так и в промышленности является ЛР.

Поэтому мы решили экспериментально исследовать доступные нам современные электрические источники света, на примере КЛЛ для прямой замены ЛР.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

По мнению значительной части авторов публикаций [4-15], главным барьером, сдерживающим более широкое внедрение КЛЛ для освещения является высокая их стоимость по сравнению с ЛР (в 10-30 раз!). Но кроме высоких цен на КЛЛ есть еще много проблем, которые сдерживают более широкое использование КЛЛ на освещение:

- несоответствие некоторых параметров КЛЛ ожиданиям потребителей (дизайн, размеры, цветность, яркость и др.),

- низкое качество КЛЛ некоторых производителей и невыполнение ими гарантийных обязательств по замене КЛЛ в случаях преждевременного выхода их из строя. По мнению ряда авторов, уже сегодня главным барьером, сдерживающим замену ЛР на КЛЛ, является качество последних.

Так, по данным [3-8] лампы зарубежных фирм «Philips», «Osram», «General Electric», отечествен-

ной «Газотрон-люкс», в основном соответствуют задекларированным в каталогах данным, имеют хорошее качество. Что касается продукции китайского производства, поставляемой под различными торговыми марками, то часто встречается партии низкого качества, которые не соответствуют требованиям нормативных документов.

Поэтому проблема качества, надежности и безопасности новых источников света, является весьма актуальной.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задача работы – исследовать характеристики современных электрических источников света на базе КЛЛ.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Нами исследовались КЛЛ торговых марок «Osram», «Lumax», «Svoya» на соответствие задекларированных светотехнических и электротехнических параметров. Для испытания были закуплены через торговую сеть по 3 лампы каждой торговой марки мощностью 20 Вт. Испытания проводили с использованием стандартных методик [15-20]

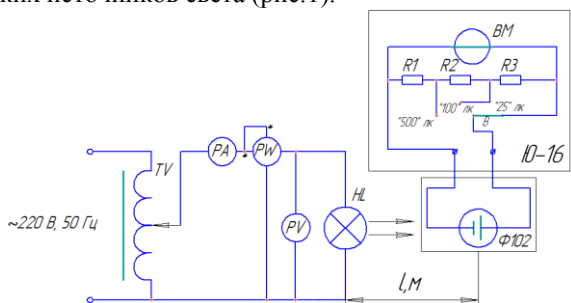
Производители подали такие характеристики источников света:

– КЛЛ (Osram) - 20 Вт, 1300 лм, срок службы 10000 ч.,

– КЛЛ (Lumax) - 20Вт, 1160 лм, срок службы 10000 ч.,

– КЛЛ (Svoya) - 20 Вт, 1200 лм, срок службы 8000 ч.

Схема исследования показателей электрических источников света (рис.1).



**Рис 1.** Схема исследования электрических и светотехнических параметров источников света: TV – автотрансформатор; HL – исследуемая лампа; PA, PV, PW – амперметр, вольтметр и ваттметр соответственно; BM – измерительный механизм; B – переключатель; Ф102 – фотоэлемент; Ю-16 – люксметр

**Fig. 1.** Scheme research electrical and lighting engineering parameters of light sources: TV – autotransformer; HL – researched lamp; PA, PV, PW – ammeter, voltmeter and wattmeter respectively; BM – measuring mechanism; B – switch; Ф102 - photocell; Ю-16 – luxmeter

Значение результатов измерения световых и электрических параметров КЛЛ различных торговых марок приведены в табл. 1. Проведя эксперименты, мы получили показатели активной мощности

при работе на номинальном напряжении 220 В, которые приведены в табл. 2. Приведенные результаты исследования свидетельствуют о том, что среди исследованных партий ламп среднее значение активной мощности по всем представленным производителям не соответствует заявленной мощности на упаковке. На основе проведенных опытов также определяли зависимость освещенности E, лк от напряжения питания U, В (табл.1, рис. 2). На основе этого исследования можно констатировать, что в большинстве конструкций КЛЛ при изменении напряжения питания в пределах 180-240 В освещенность КЛЛ изменяется пропорционально (рис. 2), примерно на 1% ( $\pm 0,2\%$ ) с изменением напряжения на 1%.

**Таблица 2.** Сравнительная характеристика паспортных и измеренных мощностей КЛЛ

**Table 2.** Comparative characteristics passport and measured power CFL

Тип источника света	$P_z$ , Вт	$P_{ф}$ , Вт	Разница между фактической и декларируемой мощностью, %
КЛЛ (Osram)	20	17,954	- 11,4 %
КЛЛ (Lumax)	20	19,15	- 4,44 %
КЛЛ (Svoya)	20	21,361	+ 6,37 %

Значительным недостатком КЛЛ, поступающих на рынок Украины, является достаточно невысокий коэффициент мощности, который колеблется в пределах 0,606-0,74.

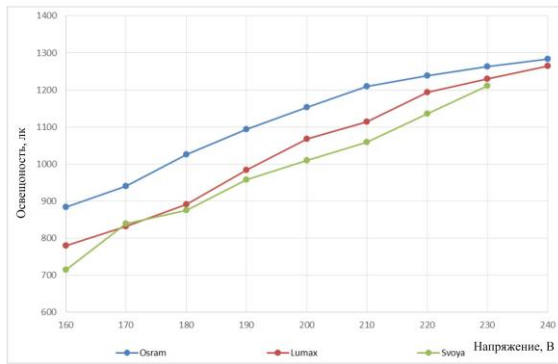
Критерием энергоэкономичности является светоотдача лампы. Эффективность различных исследованных нами КЛЛ графически изображено на рис. 3.

Более эффективна такая КЛЛ, в которой светоотдача при номинальном напряжении питания имеет максимальное значение. Этому критерию соответствует КЛЛ торговой марки Lumax. Дополнительно сюда можно отнести и лампу марки Osram в которой отклонения светоотдачи при номинальном напряжении составляет 2,1% от номинальной светоотдачи. Это подтверждается и результатами измерений, приведенных в табл. 1.

На основе проведенных измерений и расчетов определяли зависимость активной, реактивной и полной мощности от напряжения питания - рис.4.

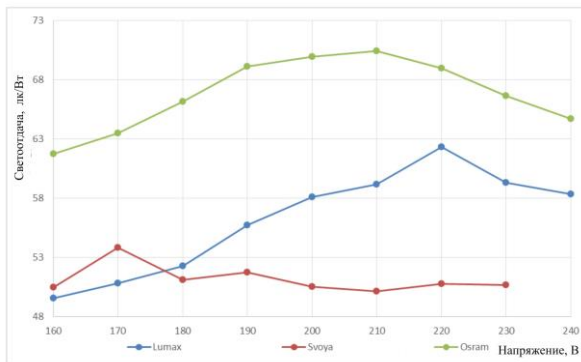
**Таблица 1.** Результаты измерения параметров КЛЛ  
**Table 1.** Results of measurement parameters CFL

Тип лампы	Параметр	U, В								
		160	170	180	190	200	210	220	230	240
OSRAM, 20 Вт, 1300лм	I, А	0,1475	0,1425	0,1425	0,1375	0,136	0,135	0,135	0,1355	0,138
	E, лк	890	960	1040	1100	1150	1220	1245	1270	1290
	P, Вт	14,302	14,68	15,544	15,832	16,48	17,18	17,99	18,89	19,998
OSRAM, 20 Вт, 1300лм	I, А	0,146	0,1425	0,14	0,1365	0,136	0,134	0,134	0,135	0,136
	E, лк	860	930	1015	1090	1150	1190	1230	1260	1270
	P, Вт	14,16	14,68	15,27	15,717	16,42	17,053	17,865	18,82	19,71
OSRAM, 20 Вт, 1300лм	I, А	0,149	0,146	0,1435	0,138	0,1365	0,136	0,135	0,138	0,136
	E, лк	900	930	1020	1090	1160	1220	1240	1260	1290
	P, Вт	14,45	15,041	15,653	15,89	16,544	17,31	18,01	19,165	19,78
Усреднены значения E, лк		883,33	940	1025	1093,33	1153,3	1210	1238,3	1263,3	1283,3
Усреднены значения P, Вт		14,302	14,801	15,49	15,81	16,48	17,18	17,954	18,96	19,83
Усреднены значения H, лк/Вт		61,77	63,51	66,18	69,143	69,97	70,43	68,97	66,65	64,72
Реактивная мощность, Q, ВАр		18,773	19,428	20,332	20,756	21,637	22,551	23,567	24,882	26,028
Полная мощность S, ВА		23,6	24,42	25,56	26,093	27,2	28,35	29,63	31,28	32,72
Коэффициент мощности		0,606								
Lumax 20 Вт, 1160 лм, 2700К	I, А	0,1525	0,1485	0,146	0,1425	0,141	0,14	0,135	0,138	0,14
	E, лк	790	830	860	990	1050	1090	1200	1240	1270
	P, Вт	15,616	16,157	16,82	17,328	18,048	18,816	19,01	20,314	21,43
Lumax 20 Вт, 1160 лм, 2700К	I, А	0,156	0,1535	0,1505	0,149	0,1475	0,142	0,137	0,142	0,143
	E, лк	800	850	915	990	1115	1140	1190	1230	1265
	P, Вт	15,97	16,701	17,34	18,12	18,88	19,08	19,29	20,9	21,965
Lumax 20 Вт, 1160 лм, 2700К	I, А	0,1525	0,149	0,1475	0,144	0,143	0,138	0,136	0,1425	0,141
	E, лк	750	815	900	970	1040	1110	1190	1220	1260
	P, Вт	15,616	16,2112	16,992	17,51	18,24	18,55	19,15	20,98	21,66
Усреднены значения E, лк		780	831,67	891,67	983,33	1068,33	1113,33	1193,3	1230	1265
Усреднены значения P, Вт		15,74	16,36	17,05	17,65	18,39	18,816	19,15	20,73	21,68
Усреднены значения H, лк/Вт		49,57	50,847	52,3	55,71	58,1	59,17	62,32	59,33	58,34
Реактивная мощность, Q, ВАр		18,89	19,64	20,47	21,19	22,078	22,590	22,989	24,89	26,03
Полная мощность S, ВА		24,587	25,56	26,64	27,58	28,73	29,4	29,92	32,39	33,88
Коэффициент мощности		0,64								
Svoya, 20 Вт, 1200 лм	I, А	0,12	0,1235	0,128	0,133	0,135	0,136	0,138	0,1405	-
	E, лк	725	825	875	975	1000	1050	1130	1200	-
	P, Вт	14,208	15,54	16,98	18,7	19,98	21,057	22,4	23,913	-
Svoya, 20 Вт, 1200 лм	I, А	0,121	0,123	0,128	0,13	0,135	0,136	0,137	0,14	-
	E, лк	720	840	875	950	1020	1075	1150	1225	-
	P, Вт	14,36	15,47	17,05	18,28	19,98	21,13	22,34	23,83	-
Svoya, 20 Вт, 1200 лм	I, А	0,118	0,125	0,13	0,132	0,135	0,136	0,1373	0,141	-
	E, лк	700	850	875	950	1010	1050	1125	1210	-
	P, Вт	13,91	15,725	17,316	18,56	19,98	21,14	22,35	23,99	-
Усреднены значения E, лк		715	838,3	875	958,33	1010	1058,3	1135	1211,7	-
Усреднены значения P, Вт		14,16	15,58	17,116	18,51	19,98	21,11	22,361	23,91	-
Усреднены значения H, лк/Вт		50,5	53,81	51,12	51,77	50,551	50,14	50,756	50,67	-
Реактивная мощность, Q, ВАр		12,87	14,16	15,56	16,83	18,16	19,19	20,32	21,74	-
Полная мощность S, ВА		19,13	21,052	23,13	25,017	27	28,53	30,22	32,315	-
Коэффициент мощности		0,74								



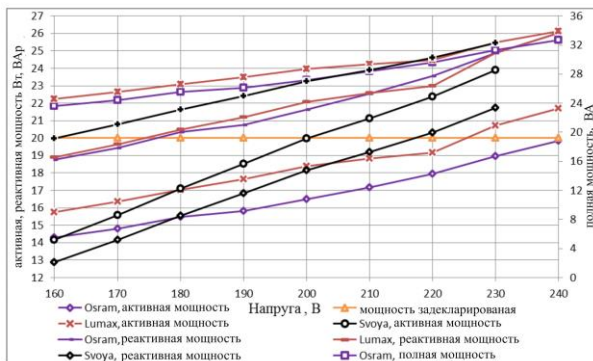
**Рис. 2.** Зависимость освещенности источников света от напряжения питания

**Fig. 2.** The dependence of illumination of light sources on supply voltage



**Рис. 3.** Зависимость светоотдачи КЛЛ от напряжения питания

**Fig. 3.** Dependence CFL light output by supply voltage



**Рис. 4** Зависимость мощности (активной, реактивной, полной) КЛЛ от напряжения питания

**Fig. 4.** Dependence of power (active, reactive, and apparent) CFL on supply voltage

### ВЫВОДЫ

КЛЛ – перспективные энергоэкономичные лампы, но значительная часть ламп, поступающих на внутренний рынок Украины не отвечают задекларированным светотехническим, электрическим параметрам. Как мы видим из исследований, заявленная мощность этих КЛЛ не соответствует экспериментальным данным, в некоторых случаях превышает более 6% – КЛЛ (Svoya), хотя нужно отметить, что порой она оказалась ниже, чем заявленная – КЛЛ (Lumax, Osram) соответственно – 4,44 и 11,4%.

В свою очередь за светоотдачей на номинальном напряжении 220 В данные КЛЛ можно проранжировать в следующем порядке:

1. КЛЛ (Osram) - 68,97 лк / Вт;
2. КЛЛ (Lumax) - 62,3 лк / Вт;
3. КЛЛ (Svoya) - 50,6 лк / Вт;

Значительным недостатком КЛЛ, поступающих на рынок Украины, является невысокий коэффициент мощности, который колеблется в пределах 0,606-0,74 дополнительно уменьшает технику - экономические показатели электроснабжения, а также увеличивает потери электроэнергии.

Исходя из вышесказанного, можно понять, что для завоевания рынка энергоэкономичных источников света, в частности КЛЛ, жизненно необходимо обеспечить их высокое качество. Для этого необходимо ограничить на рынок Украины доступ некачественной продукции через систему технического регулирования.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Сорокин В.М., 2009** Светодиодное освещение расширяет границы. СвітлоЛюкс №2 37-41.
2. **Василега П.О. 2010.** Электротехнологические установки. Суммы Издательство СумГУ, 548. (Украина).
3. **Иванов В. 2007.** Полтавастандартметрология: новые возможности защиты потребителей светотехнической продукции. Стандартизация, сертификация, качество. №5. 67-71. (Украина).
4. **Айзенберг Ю.Б. 2007.** Энергоэкономия - одна из важнейших проблем современной светотехники. Светотехника №6. 6-10.
5. **Кожушко Г.М., Басова Ю.О. 2005.** Анализ преимуществ и недостатков светодиодных источников света. Научный вестник ПУСКУ № 28, 8-15. (Украина).
6. **Веккер А., Мюллер С. 2001** Источники света: ситуация 2000 Светотехника. №2. 11-13.
7. **Кожушко Г.М. 2003.** Об эффективности компактных люминесцентных ламп. СвітлоЛюкс. № 2. 37-39. (Украина).
8. **Гошко М.О., Василюв К.М., Химка С.М. 2012.** Исследование характеристик современных электрических источников света. Вестник Львовского национального аграрного университета "Агроинженерный исследования" №16. 56-62. (Украина).
9. **Ковальчук И.М., Бархатов О.М. 2013.** Разработка и обоснование эффективности технологического светодиодного освещения птичника промышленного стада кур-несучек. Труды ТГАТУ. 336. (Украина).
10. **Железняк А.М., Черевко В.Д., Химка С.М. 2011.** Экономические предпосылки развития сельского хозяйства. Вестник Каменец-Подольского национального университета им. И. Огиенко экономические науки. №4. 138-141. (Украина).
11. **Yatsun A.M. 2013** Power of consumption and phase displacement between voltage and a current of the covering ring capacitor transducer over a conducting plate. Motrol. Vol. 15, 206-211.



12. **Милосердов В.О. 2007.** Электротехнологические установки и устройства. Винница: ВНТУ, 135. (Украина).
13. **Соловей О.И. 2009.** Промышленные электротехнологические установки. К.: Кондор, 172. (Украина).
14. **Сиротюк В.М., Гальчак В.П., Сиротюк С.В. 2011.** Согласование параметров аккумуляторной батареи с параметрами электрического генератора ВЭУ в условиях изменчивости ветрового потока. Motrol. № 13D. 217-222. (Украина).
15. **Якимец В.Т., Дробот И.М. Бубняк М.О. 2012.** Дистанционная защита машин переменного тока. Motrol. №14. 160-164. (Украина).
16. **Сиротюк В.М., Химка С.М. 2011.** Экспериментальное исследование режимов работы энергосберегающего вибрационного дозатора сыпучих кормов. MOTROL №13D. 62-67. (Украина).
17. **Федоров В.В. 1971** Теория оптимального эксперимента. М.: Наука, 378.
18. **ГОСТ 17616-82 1982.** Лампы электрические. Методы измерения электрических и световых параметров. М.: Издательство стандартов, 46.
19. **ДСТУ МЭК 60901: 2001** Лампы люминесцентные одноцокольные. К.: Госпотребстандарт, 198. (Украина).
20. **Мельников С.В., Алешкин В.Р., Рошин П.М. 1980.** Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. Л.: Колос, 258. (Украина).

RESEARCH THE PARAMETERS OF MODERN  
LIGHT SOURCES ON THE EXAMPLE OF  
COMPACT FLUORESCENT LAMPS

**Summary.** In the article the results of research of modern light sources is considered on the example of compact fluorescent lamps (CFL).

The problem of economy of electric power (EP) acquired an exceptional value in the last few years, in particular on illumination. In the most developed countries of the world replacement of filament lamp (FL) on CFL is examined as a way of decline of EP consumption for the illumination.

CFL are perspective energy and economical lamps, but at the internal market of Ukraine the considerable part of lamps have disparity with declared lighting/illuminating engineering and electric parameters. We researched the CFL of «Osram», «Lumax», «Svoya» trade marks on accordance with declared lighting/illuminating engineering and electrical parameters.

The results of research of the parties of lamps revealed the variance of mean value of active-power of all presented producers and the declared power on lamps packing.

On the basis of the experiments also the dependence of luminosity (E, lx) from electric tension (voltage U, V) are determined. On the basis of this research it is possible to establish that in majority of CFL at the change of voltage within the limits of 180-240 V the CFL luminosity is changed proportionally, approximately on 1% ( $\pm 0,2\%$ ) with the 1% change of tension.

As the research shown the declared power of studied CFL is different with researched power of varies trademarks and determined power is more than 6% for Svoya CFL, and power appeared below than declared of CFL Lumax and Osram by 4,44 and - 11,4% accordingly.

The considerable disadvantage of CFL at the market of Ukraine is a not high power-factor that varies within the 0,606-0,74 limits and diminishes additionally the technical and economic indices of power supply, and also increases the losses of electric power.

**Key words:** lights, lighting, compact fluorescent lamps, the luminous efficiency, power factor.



## СТРУКТУРНО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВЕНТИЛЯЦИИ ПТИЧНИКА

*Иван Дробот*

*Львовский национальный аграрный университет*

*Ул. В. Великого 1, Дубляны, Украина. E-mail: i.drobot@yandex.ua*

*Ivan Drobot*

*Lviv National Agrarian University*

*St. Vladimir the Great 1, Dubliany, Ukraine. E-mail: i.drobot@yandex.ua*

**Аннотация.** В системах вентиляции птичников для привода вентиляторов используют трехфазные асинхронные электродвигатели, а регулирование производительности осуществляется, в основном путем регулирования напряжения питания с помощью автотрансформаторов и тиристорных регуляторов напряжения. На сегодняшний день высокую популярность приобрел частотный способ регулирования скорости вращения асинхронных электродвигателей.

Появление объектно-ориентированных программ и соответствующих сред программирования облегчило создание сложных быстродействующих моделей и их последующее развитие и использование, а появление математических пакетов (таких как MATHCAD или MATLAB) дало возможность ощутимо упростить создание моделей, в частности с использованием аналитических методов, которые имеют несомненное преимущество над числовыми, а также дала возможность избежать необходимости разработки своих процедур решения систем дифференциальных уравнений, которые описывают модель, поскольку они входят в состав практически каждого математического пакета. Для моделирования используем программу MATLAB/Simulink.

В статье рассмотрен вопрос построения структурно-математической модели регулирования продуктивности вентиляции птичника. Построена структурно-математическая модель асинхронного двигателя, преобразователя частоты, регулятора уровня углекислого газа. Построена структурно-математическая модель системы в среде MATLAB/Simulink. Проведено моделирование при изменении уровня концентрации углекислого газа при его увеличении и уменьшении, в обоих случаях система электропривода четко обрабатывает возмущение, путем изменения скорости вращения двигателей. Получено временно зависимости параметров системы.

**Ключевые слова:** структурно-математическая модель, регулирование, электропривод.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В системах вентиляции птичников для привода вентиляторов используют трехфазные асинхронные электродвигатели, а регулирование производительности осуществляется, в основном путем регулиро-

вания напряжения питания с помощью автотрансформаторов и тиристорных регуляторов напряжения. На сегодняшний день высокую популярность приобрел частотный способ регулирования скорости вращения асинхронных электродвигателей. Поэтому в данной статье предлагается рассмотреть такой тип электропривода.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Согласно [1] видно целесообразность и актуальность модернизации данного электропривода, а согласно [2] построить и исследовать систему [1-20].

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Основным заданием исследования является проверить, как будет обрабатывать система автоматизированного электропривода вентиляции птичника изменения в воздухообмене. Для этого необходимо построить структурно математическую модель автоматизированного электропривода вентиляции птичника.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Появление объектно-ориентированных программ и соответствующих сред программирования облегчило создание сложных быстродействующих моделей и их последующее развитие и использование, а появление математических пакетов (таких как MATHCAD или MATLAB) дало возможность ощутимо упростить создание моделей, в частности с использованием аналитических методов, которые имеют несомненное преимущество над числовыми, а также дала возможность избежать необходимости разработки своих процедур решения систем дифференциальных уравнений, которые описывают модель, поскольку они входят в состав практически каждого математического пакета. Для моделирования используем программу MATLAB/Simulink.

Следовательно, необходимо построить структурно-математическую модель автоматической системы управления на базе которой разработать модель системы и провести исследование разных режимов работы. Для моделирования используем программу MATLAB/Simulink.

Основными составляющими системы является:

- асинхронный двигатель;
- преобразователь частоты;
- пропорционально-интегральный регулятор;
- датчик обратной связи за содержанием CO<sub>2</sub>.

Начнем построение модели системы с модели асинхронного двигателя.

Для моделирования асинхронного двигателя принимаем схему замещения (рис.1):

где  $r_1$  – активное сопротивление статора АД;  $r'_a$  – активное эквивалентное сопротивление ротора АД;  $x_1$  – индуктивное сопротивление рассеивания статора АД;  $x'_a$  – индуктивное сопротивление рассеивания ротора АД, приведенное к обмотке статора;  $U_1$  – фазное напряжение питания АД.

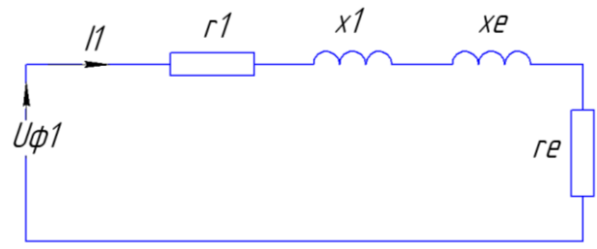


Рис. 1. Эквивалентная схема замещения фазы АД

Fig. 1. Equivalent chart of substituting for the phase of asynchronous engine

В соответствии с полученной системой изображим структурную схему (рис. 2). Моделирование проводится в математическом пакете MATLAB/Simulink. Модель с подставленными значениями параметров представлена на (рис. 3).

Модель преобразователя частоты с законом управления  $U/f^2 = \text{const}$ , представленная на (рис. 4).

Модель ПИ – регулятора уровня представлена на рис. 5.

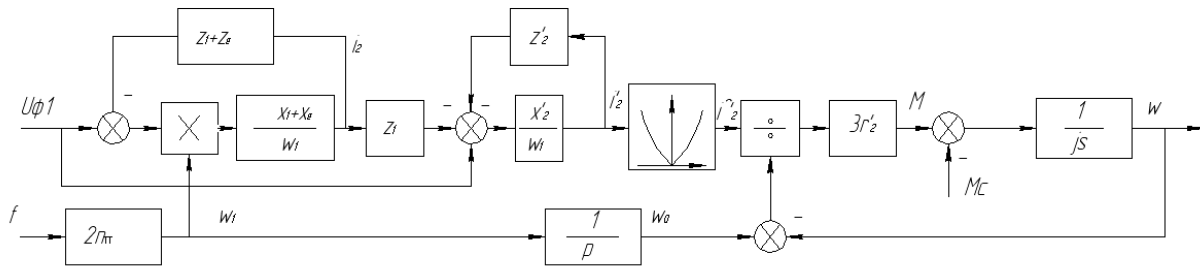


Рис. 2. Структурно математическая модель асинхронного двигателя

Fig. 2. Structurally mathematical model of asynchronous engine

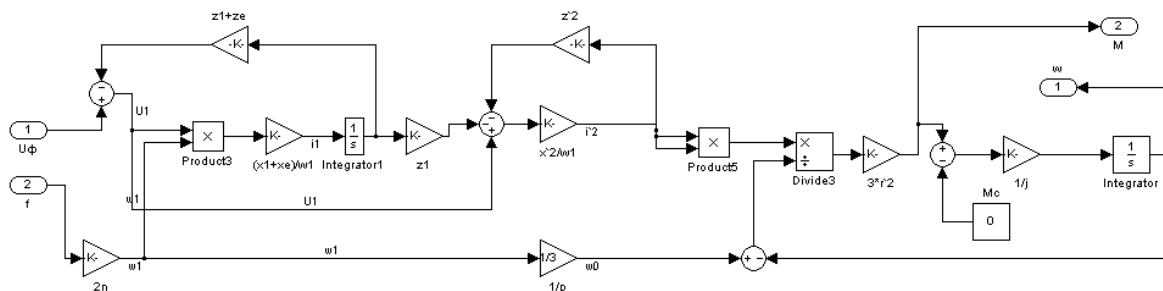


Рис. 3. Структурно математическая модель асинхронного двигателя построена в среде MATLAB/Simulink

Fig. 3. Structurally the mathematical model of asynchronous engine is built in the environment of MATLAB/Simulink

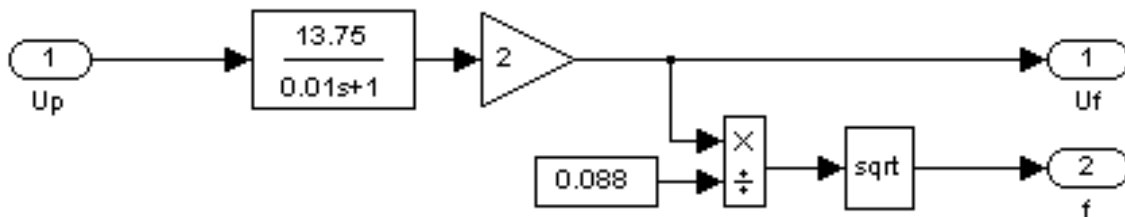
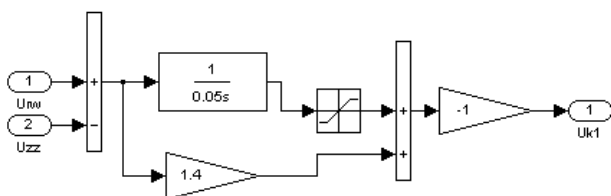


Рис. 4. Структурно математическая модель преобразователя частоты с законом управления  $U/f^2 = \text{const}$  построена в среде MATLAB/Simulink

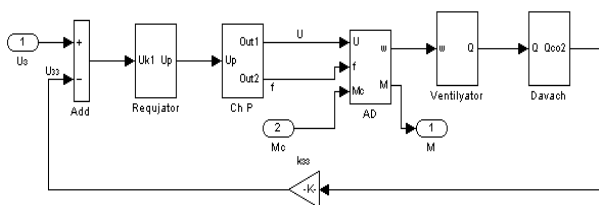
Fig. 4. Structurally the mathematical model of transformer of frequency with the law of management of  $U/f^2 = \text{const}$  is built in the environment of MATLAB/Simulink



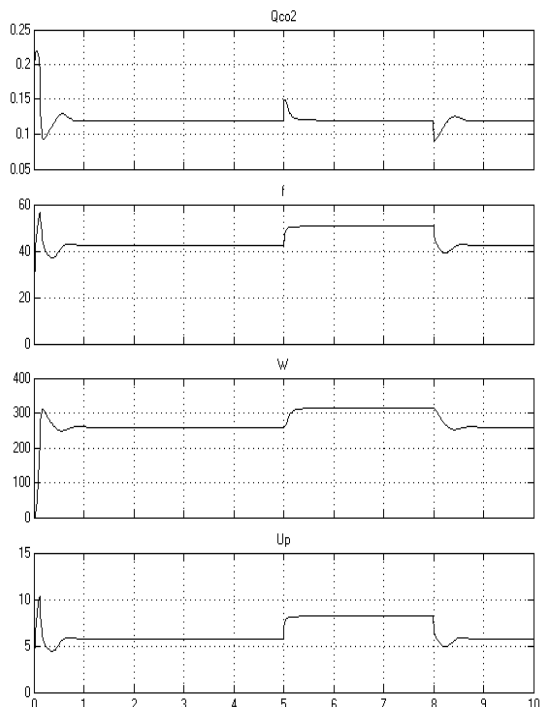
**Рис. 5.** Модель ПИ – регулятора концентрации  $CO_2$   
**Fig. 5.** Model of PI – regulator of concentration of carbon dioxide

Построим график переходных процессов концентрации углекислого газа, частоты напряжения питания, угловой скорости вращения двигателя, напряжения регулятора.

С помощью данной модели можно исследовать динамику системы при изменении концентрации углекислого газа.



**Рис. 6.** Структурно математическая модель системы электропривода  
**Fig. 6.** Structurally mathematical model of the system of electromechanic



**Рис. 7.** Графические зависимости переходных процессов концентрации углекислого газа, частоты напряжения питания, угловой скорости вращения двигателя и напряжения регулятора

**Fig. 7.** Graphs of transients of concentration of carbon dioxide, frequency of tension of feed, angular of rotation of engine and tension of regulator

Графические зависимости переходных процессов представлена на рис. 7. Так на рис. 5 скачкообразно увеличиваем уровень его концентрации, после этого увеличивается исходное напряжение регулятора, исходная частота преобразователя частоты и угловая скорость вращения двигателя. При этом уровень концентрации углекислого газа уменьшается к необходимому уровню. И наоборот, при резком уменьшении уровня углекислого газа на 8 с исходное напряжение регулятора, уровень частоты преобразователя частоты и скорость уменьшаются.

## ВЫВОДЫ

Следовательно, из анализа графических зависимостей переходных процессов видно, что система работает должным образом, обеспечивая автоматическую поддержку уровня концентрации углекислого газа. Время переходных процессов составляет меньше чем 0,5 с.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Закладный О.М. 2005.** Энергобережения средствами промышленного электропривода: учебное пособие / О. М. Закладный, А. В. Праховник, О. И. Соловей – К.: Кондор, – 839. (Украина).
2. **Черных И.В. 2008.** Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / И. В. Черных – М.: ДМК Пресс; Спб.: Питер, – 288.
3. **Башарин А.В. Новиков В.А., Соколовский Г.Г. 1982.** Управление электроприводами: учебное пособие для вузов / - Л. Энергоиздат, – 389.
4. **Костинюк Л.Д., Мороз В.И., Паранчук Я.С. 2004.** Моделирование электроприводов: уч. пособие / – Львов.: Изд-во университета «Львовская политехника», – 404. (Украина).
5. **Елисеєва В.А., Шинянского А.В. 1983.** Справочник по автоматизированному электроприводу. – М.: Энергоатомиздат, – 616.
6. **Дробот И.М., Гошко М.О. 2011.** Пути уменьшения энергопотребления электроприводов на примере технологического процесса измельчения корма // MOTROL Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin, – №13D. 50-56.
7. **Маляр В., Гречин Д., Гавде И. 2011.** Математична модель магнитного состояния асинхронного двигателя с экранированными полюсами // MOTROL Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin, – №13D. 171 – 180.
8. **Лавриненко Ю.М., Марченко О.С. 2009.** Электропривод: учебник. – К.: Лира – К., – 504. (Украина).
9. **Москаленко В.В. 2004.** Электрический привод: Учеб. пособие для сред. проф. образования / Москаленко В.В.; – М.: Издательский центр «Академия», – 386.

10. **Якобсон В.А. 1988.** Испытания и проверки при наладке электрооборудования./ Якобсон И.А. – М.: Энергоатомиздат.
11. **Онищенко Г.Б. 2003.** Электрический привод. Учебник для вузов/ Онищенко Г.Б. – М.: РАСХН, – 320.
12. **Лавриненко Ю.М., Марченко О.С., Савченко П.И., Сыновний О.Ю., Войтюк Д.Г., Лисенко В.П. 2009.** Электропривод: Учебник. Издательство «Лира-К». – К. – 504. (Украина).
13. **Попович М.Г. 1993.** Теория электропривода / К.: Высшая школа, – 495. (Украина).
14. **Марченко О.С., Лавриненко Ю.М., Савченко П.И., Жулай Е.Л. 1995.** Электропривод. – К.: Урожай, – 260. (Украина)
15. **Жулай Е.Л. 2001.** Электропривод сельскохозяйственных машин, агрегатов и поточных линий.К. – Высшее образование. – 288. (Украина).
16. **Ключев В.И., Терехов В.И. 1980.** Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов. – М.: Энергия.
17. **Савченко П.И., Гаврилюк И.А., Земляной И.Н., Худобин Н.В. 1996.** Практикум по электроприводу в сельском хозяйстве / – М.: Колос, – 150. (Украина).
18. **Ермолаев С.О., Мунтян В.О., Яковлев В.Ф. 2003.** Эксплуатация энергооборудования и средств автоматизации в системе АПК: Учебник /За ред. и С.О. Ермолаева. – К.: Цель, – 543. (Украина).
19. **Лут М.Т., Мирошник О.В., Трунова И.М., 2008.** Основы технической эксплуатации энергетического оборудования АПК.– Харьков: Факт, – 438. (Украина).
20. **Буряк В.М. 2008.** Эксплуатация электрооборудования систем электроснабжения. – Х.: Тимченко, – 496.

#### STRUCTURALLY MATHEMATICAL MODEL OF SYSTEM OF THE AUTOMATED ELECTROMECHANIC OF VENTILATION OF POULTRY HOUSE

**Summary.** In the systems of ventilation poultry houses for the drive of ventilators utilize three-phase asynchronous electric motors, and adjusting of the productivity is carried out, mainly by adjusting of tension of feed by autotransformers and thyristor vrs. To date high popularity was purchased by the frequency method of adjusting of speed of rotation of asynchronous electric motors.

Appearance of object-oriented programs and proper programming environments was facilitated by creation of difficult fast-acting models and them subsequent development and use, and appearance of mathematical packages (such as MATHCAD or MATLAB) enabled perceptibly to simplify creation of models, in particular with the use of analytical methods which have undoubted advantage above numerical, and also enabled to avoid the necessity of development of the procedures of decision of the systems of differential equalizations which describe a model, as they enter in the complement of practically every mathematical package. For a design utilize the program MATLAB/Simulink.

There is a rasмотрен question of construction of structurally mathematical model of adjusting of the productivity of ventilation of poultry house in the article. The структурно-математическая model of asynchronous engine, transformer of frequency, regulator of level of carbon dioxide is built. The structurally mathematical model of the system is built in the environment of MATLAB/Simulink. A design at the change of level of concentration of carbon dioxide is conducted at his increase and diminishing, in both cases the system of electromechanic works off indignation expressly, by a change speed of rotation of engines. Vremenne dependences of parameters of the system are got.

**Key words:** structurally mathematical model, adjusting, electromechanic.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ОТДЕЛЬНЫМИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ЗЕРЕН РАЗЛИЧНЫХ КУЛЬТУР

*Роман Кузьминский, Олег Соколовский, Роман Шеремета*

*Львовский национальный аграрный университет*

*Ул. В. Великого 1, Дубляны, Украина. E-mail: romansheremeta@ukr.net*

*Roman Kuzminskyi, Oleg Sokolovskyi, Roman Sheremeta*

*Lviv National Agrarian University*

*St. Vladimir the Great 1, Dubliany, Ukraine. E-mail: romansheremeta@ukr.net*

**Аннотация.** Изложены результаты анализа геометрических параметров (длины, ширины и толщины) зерен различных сельскохозяйственных культур. За результатами измерений и корреляционного анализа установлено, что для зерен отдельных культур (пшеница, рожь) имеет место существенная корреляционная связь между отдельными геометрическими параметрами, что следует учитывать, используя для моделирования их геометрии, многомерные распределения зависимых случайных величин. Для других культур (кофе различных сортов) корреляционная связь между отдельными геометрическими параметрами зерен оказалась слабой, а потому для моделирования их геометрии достаточно ограничиться использованием многомерных распределений независимых случайных величин.

**Ключевые слова:** зерна сельскохозяйственных культур, геометрические параметры, корреляционная связь, моделирование.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Геометрические параметры зерен различных культур необходимо знать для моделирования рабочих процессов технологического оборудования, например процессов сепарации [1; 24], шелушения, измельчения, а также процессов транспортировки и хранения. Достоверные результаты моделирования указанных рабочих процессов можно получить при условии адекватности применяемых моделей геометрических параметров зерен. Получение таких моделей является проблематичным [2; 3; 13; 14], поскольку геометрические параметры зерен являются очень изменчивыми, что характерно для биологических материалов в целом.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Геометрические параметры зерен различных культур изучают исследователи многих стран [6-10; 15; 18]. Преимущественно рассматривают лишь два параметра зерен, а именно длину и ширину, поскольку, исходя из формы большинства зерен, толщина практически совпадает с шириной. Установлено, что на геометрические параметры зерен существенно влияет относительная влажность зернового материала [4-5; 12; 16; 19-21; 25]. В свою очередь геометрические параметры зерен тесно связаны с их массой [22,

23].

S. Gursoy [9], M. Karimi [11], A. Rojano [17] и A. Tabatabaeefar [21] рассматривали геометрические параметры семян пшеницы как случайные величины. За результатами статистической обработки результатов измерений геометрических параметров семян озимой пшеницы сорта Смуглянка установлены статистические распределения длины, ширины и толщины отдельных семян [3].

M. Karimi использовал двумерное распределение для описания геометрических параметров изюма [11]. Двумерное распределение геометрических параметров было получено в предположении, что отдельные параметры являются независимыми случайными величинами, однако данные, подтверждающие эту гипотезу, не приводились.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

За результатами экспериментальных исследований установить плотность корреляционной связи между геометрическими параметрами зерен.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Геометрические параметры зерен определяли путем измерения длины ( $l$ ), ширины ( $b$ ) и толщины ( $h$ ) электронным штангенциркулем ШЦЦ-I-150 ГОСТ 166-89 с ценой деления 0,01 мм.

Влажность зернового материала определяли в соответствии со стандартом ГОСТ 13586.5-93.

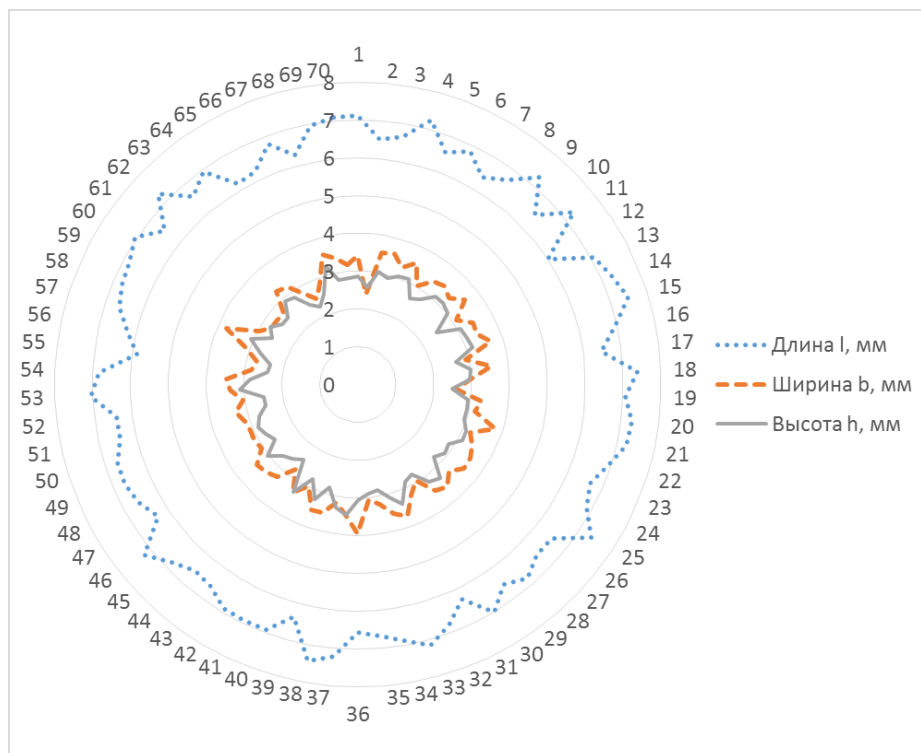
Значения отдельных геометрических параметров зерен пшеницы сорта Смуглянка приведены в табл. 1.

Для сравнения геометрических параметров (длины, ширины и толщины) зерен озимой пшеницы сорта Смуглянка построена лепестковая диаграмма (рис. 1).

Анализ распределения значений геометрических параметров показал, что выступам на диаграмме длины зерен соответствуют выступы на диаграммах ширины и толщины. Эта же закономерность присуща и для впадин соответствующих лепестковых диаграмм. Таким образом, зерна большей длины имеют преимущественно большую толщину и ширину, что свидетельствует о взаимозависимости отдельных геометрических параметров.

**Таблица 1.** Геометрические параметры зерен пшеницы сорта Смуглянка**Table 1.** The geometrical parameters of wheat grains variety *Smuglyanka*

Параметры	Количество измерений	Среднее значение, мм	Диапазон значений, мм	Среднее квадратическое отклонение
Длина	100	6,75	5,9 – 7,5	0,3592
Ширина	100	3,23	2,39 – 3,94	0,3105
Толщина	100	2,85	2,28 – 3,47	0,2627

**Рис. 1.** Лепестковая диаграмма для сравнения геометрических параметров (длины, ширины и толщины) зерен пшеницы сорта Смуглянка.**Fig. 1.** Radar chart for comparison of geometric parameters (length, width and thickness) of wheat grains variety *Smuglyanka*.**Таблица 2.** Значения коэффициентов корреляции для различных культур (плотность корреляционной связи)**Table 2.** The values of correlation coefficients for different crops (the density of the correlation)

Культура (влажность)	Длина – ширина	Ширина – толщина	Длина – толщина
Пшеница сорта Смуглянка ( $\psi = 14,37\%$ )	0,266 (слабая)	0,745 (сильная)	0,475 (умеренная)
Пшеница сорта Ранняя 93 ( $\psi = 15,4\%$ )	0,633 (значительная)	0,584 (значительная)	0,597 (значительная)
Рожь сорта Пуховчанка ( $\psi = 13,41\%$ )	0,422 (умеренная)	0,237 (слабая)	0,217 (слабая)
Кофе Арабика ( $\psi = 26,43\%$ )	0,379 (умеренная)	0,147 (слабая)	0,262 (слабая)
Кофе Робуста ( $\psi = 22,95\%$ )	0,124 (слабая)	0,052 (практически отсутствует)	0,168 (слабая)



Плотность связи между отдельными геометрическими параметрами зерен определяли на основании значений коэффициентов корреляции, которые рассчитывали за формулой:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

где:  $x_i, y_i$  – значения сравниваемых геометрических параметров для  $i$ -го зёрнышка;  $\bar{x}, \bar{y}$  – средние значения сравниваемых геометрических параметров;  $n$  – объем выборки.

Произведены расчёты значений коэффициентов корреляции между тремя геометрическими параметрами (длина, ширина, толщина) зерен нескольких сельскохозяйственных культур. Установлено, что между геометрическими параметрами зерен пшеницы существует сильная либо значительная корреляционная связь, а между геометрическими параметрами зерен кофе – умеренная или слабая корреляционная связь (табл. 2).

#### ВЫВОДЫ

Анализ полученных результатов показал, что гипотеза о независимом характере геометрических параметров зерен различных культур, широко используемая многими исследователями, требует обязательной экспериментальной проверки. Для зерен отдельных культур (например, кофе различных сортов) эта гипотеза может быть принята, а модели зерен, полученные с использованием многомерных распределений независимых случайных величин, будут адекватными. Для зерен значительной группы других культур (например, для пшеницы и ржи различных сортов) гипотеза о независимости отдельных геометрических параметров зерен не нашла своего подтверждения, а поэтому для получения адекватных моделей геометрии зерен следует использовать многомерные распределения зависимых случайных величин.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Ковалишин С., Паранюк В., Дадак В., Соколюк В. 2012.** Оценка и выявление новых признаков делимости мелкосеменных смесей сельскохозяйственных культур. Motrol – 2012. Commission of motorization and energetic in agriculture. Vol. 14, №4. 160–164. (Украина).
2. **Кузьминский Р.Д., Соколовский О.Р., Шеремета Р.Б. 2014.** Моделирование геометрических параметров семян сельскохозяйственных культур с использованием многомерных распределений. Роль науки в повышении технологического уровня и эффективности АПК Украины: тезисы IV Междунар. научно-практической. конф., 15-16 мая 2014 Тернополь, 91–94. (Украина).
3. **Кузьминский Р., Соколовский О., Шеремета Р. 2014.** Математическая модель геометрических параметров семян пшеницы. Вестник Львов. национальный. аграр. ун-т: Агроинженерные исследования. №18. 171–176. (Украина).
4. **Соколовский О.Р., Кузьминский Р.Д., Лозовый Р.В. 2011.** Влияние относительной влажности на геометрические параметры кофейных зерен. Вестник Львов. национальный аграр. ун-т: Агроинженерные исследования. №15, т.2. 87–95. (Украина).
5. **Amer Eissa A. H., Mohamed M.A., Moustafa H. and Alghannam A. O. (2010).** Moisture dependent physical and mechanical properties of chickpea seeds. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. Vol.3 No. 1, 1-14.
6. **Bart-Plange A.; Baryeh E. A. 2003.** The physical properties of category B cocoa beans. Journal of Food Engineering. 60(3), 219–227.
7. **Emesu P., Mabuza P. 2014.** Determination of some engineering properties of morama bean. Agric. Eng. Int. : CIGR Journal. Vol. 16, No.3, 180–188.
8. **Geodecki M., Grundas S. 2003.** Charakterystyka cech geometrycznych ziarniaków pszenicy ozimej i jarej. Acta Agrophysika, 2(3), 531-538.
9. **Gursoy S., Guzel E. 2010.** Determination of Physical Properties of Some Agricultural Grains. Res. J. Appl. Sci. Eng. Technol. 2 (5), 492–498.
10. **Hojat A, Kaveh, M, Jalal K, Seyed SM, Ali R (2009).** Some Physical and Mechanical Properties of Fennel Seed (*Foeniculum vulgare*). J. Agric. Sci., 1(1), 66-75.
11. **Karimi M. 2011.** Modelling of raisin berries by some physical and statistical characteristics. Int. Agrophys. № 25, 141–147.
12. **Karimi M., Kheiralipour K., Tabatabaefar A. [et al.]. 2009.** The effect of moisture content on physical properties of wheat. Pakistan J. Nutrition. 90–95.
13. **Mirzabe A.H., Khazaei J., Chegini G.R. 2012.** Physical properties and modeling for sunflower seeds. Agric. Eng. Int.: CIGR Journal. Vol.14, No.3, 190–202.
14. **Mieszkalski L. 2013.** Metoda matematycznego modelowania płatomi beziera kształtu ziarna pszenżyta: Inżynieria Rolnicza. Z.2 (143) T.1, 225-232.
15. **Pradhan R. C., Said P. P., Singh S. 2013.** Physical properties of bottle gourd seeds. Agricultural Engineering International: CIGR Journal. Vol. 15, No.1, 106–113.
16. **Rodrigues M.A.A., Borges M.L.A., Franca A.S., Oliveira L.S., Corrêa P.C. 2003.** Evaluation of physical properties of coffee during roasting. Agricultural Engineering International: The CIGR Journal of Scientific Research And Development, 5. Manuscript, FP03004, 12.

17. **Rojano A., Salazar R., and Galicia R. 2004.** Oat characterization by means of Weibull distribution. Proc. ASAE/CSAE Annual Int. Meeting, August 1-4, St. Joseph, MI, USA.
18. **Saif A. O., Bahnasawy A. H. 2002.** Some physical properties of Yemeni coffee grains. Egypt J. Appl. Sci. 17(9), 57–69.
19. **Sirisomboon P., P. Kitchaiya P. 2009.** Physical properties of *Jatropha curcas L.* kernels after heat treatments. Biosystems engineering. 102, 244 – 250.
20. **Sokolovskiy O., Kuz'minskiy R., Sheremeta R. 2012.** Effect of relative humidity on the geometrical parameters of the seeds of wheat and rye. Motorization and power industry in agriculture. Motrol – 2012. T. 14, 65–70.
21. **Tabatabaefar A. 2003.** Moisture-dependent physical properties of wheat. Int. Agrophysics Polish Academy Sciences. №17, 207–211.
22. **Tabatabaefar A., Vefagh-Nematolahee A., Rajabipour A. 2000.** Modeling of Orange Mass Based on Dimensions. Journal of Agricultural Science and Technology. Vol. 2, 299–305.
23. **Troccoli A., di Fonzo N. 1999.** Relationship between size features and test weight in *Trilicum durum*. Cereal Chem., 76 (1), 45-49.
24. **Voicu G., Casandroi T., Tarcolea C. 2008.** Testing stochastic models for simulating the seeds separation process on the sieves of a cleaning system, and a comparison with experimental data. Agriculturae Conspectus Scientificus. Vol. 73, No. 2, 95–101.
25. **Zdybel A., Gawłowski S., Laskowski J. 2009.** Wpływ wilgotności na wybrane właściwości fizyczne ziarna żyta. Acta Agrophysica. 14(1), 243-255.

DETERMINATION OF CORRELATION  
RELATIONSHIP BETWEEN INDIVIDUAL  
GEOMETRICAL PARAMETERS OF GRAINS OF  
DIFFERENT CULTURES

**Summary.** The results of analysis of geometric parameters (length, width and thickness) of the grains of various crops are presented. For the measurement results and correlation analysis were founded that for certain grain crops (wheat, rye) holds a significant correlation between the individual geometric parameters that should be taken into account by using multi-dimensional distributions of dependent random variables for the modeling of their geometry. For other crops (for different varieties of coffee beans) correlation between individual geometrical parameters of grains appeared to be weak and therefore multi-dimensional distributions of independent random variables for simulation of their geometry are sufficient to use.

**Key words:** grain crops, geometric parameters correlation, modeling.

## СРАВНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ СЕМЯН И ЖМЫХА ЛЬНА ПО ПОВЕРХНОСТЯХ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Роман Кузьминский, Олег Соколовский, Виталий Василькевич, Роман Шеремета*  
*Львовский национальный аграрный университет*

*Ул. В. Великого 1, Дубляны, Украина. E-mail: romansheremeta@ukr.net*

*Roman Kuzminskyi, Oleg Sokolovskiy, Vitaliy Vasilkevych, Roman Sheremeta*  
*Lviv National Agrarian University*

*St. Vladimir the Great 1, Dubliany, Ukraine. E-mail: romansheremeta@ukr.net*

**Аннотация.** Изложена методика и результаты исследований на приборе RST-01.PC коэффициента трения скольжения семян и жмыха льна масличных сортов по поверхностям различных материалов, применяемых для изготовления машин и оборудования в фармакологии, пищевой и перерабатывающей промышленности.

Установлено, что значения коэффициентов трения скольжения жмыха и семян льна по поверхности различных материалов существенно отличаются. Коэффициент сухого трения скольжения для жмыха льна выше, чем для семян льна. Наиболее существенная разница между значениями коэффициентов трения получена для условий трения скольжения по поверхности оцинкованной стали, а наименее существенная – для условий трения скольжения по поверхности необработанной стали.

**Ключевые слова:** семена льна, жмых, поверхности металлов, сухое трение, коэффициент трения скольжения.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

На эффективность процессов получения высококачественного растительного масла, предназначенного для использования в пищевой промышленности и фармакологии, существенно влияют конструктивно-технологические параметры машин и оборудования, в частности шнековых прессов. Эти параметры определяются с учётом физико-механических свойств сырья, в первую очередь с учётом значений коэффициентов трения сырья по рабочим поверхностям машин и оборудования.

С целью обеспечения высокого выхода растительного масла с семян льна используют двух- или трёхразовый отжим [15; 16] в частности шнековыми прессами [2; 3]. Если на первом этапе отжима сырьем для получения растительного масла являются семена льна, то на втором и третьем этапах – жмых. В условиях мелкотоварного производства двух- или трёхразовый отжим реализуют, используя один и тот же пресс [6; 16]. Конструктивные параметры такого пресса должны обеспечивать рациональные технологические режимы получения растительного масла как непосредственно с семян льна, так и с жмыха, образовавшегося после первого прохода. К сожалению, свойства жмыха семян льна масличных сортов изучены недостаточно, что делает невозможным теоретическое обоснование как конструктив-

ных параметров шнековых прессов, так и технологических режимов их работы на различных этапах переработки масличного сырья.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Исследованию физико-механических свойств масличного сырья посвящено много работ [1; 5–7; 9; 10; 12; 17]. В частности, для семян льна установлены размеры, коэффициенты внешнего и внутреннего трения [1; 4], исследованы технологические режимы и энергоёмкость процессов получения льняного масла из цельных и предварительно лущенных семян [18–21]. В то же время отсутствуют данные о значениях коэффициентов трения льняного жмыха по материалам, которые используются для изготовления машин и оборудования в фармакологии, пищевой и перерабатывающей промышленности.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

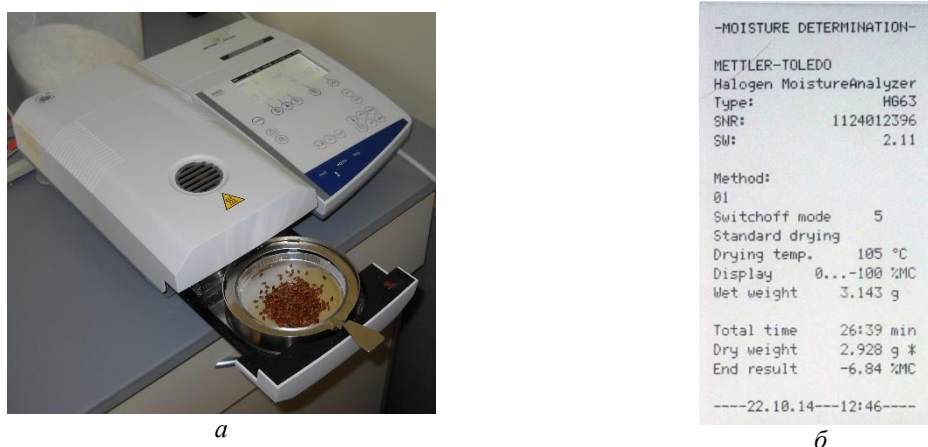
Задачей исследований было определить коэффициенты трения скольжения семян масличного льна и жмыха семян льна по поверхностям различных металлов.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

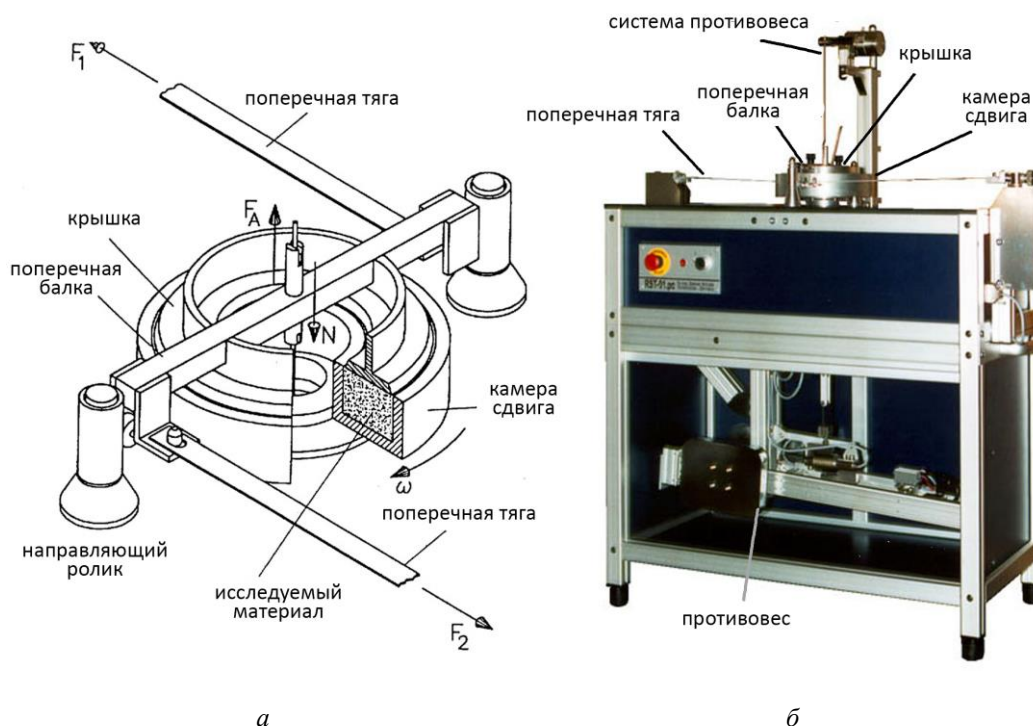
Исследовалось семя масличного льна и жмых, полученный после первого отжима семян масличного льна сорта Айсберг шнековым прессом ПО-50 [3].

Относительную влажность жмыха определяли на анализаторе влажности *Mettler Toledo HG 63* (рис. 1, *a*), который содержит два инструмента – точные электронные весы и нагревательный модуль с контролируемой температурой нагрева. Прибор выполняет измерения по термогравиметрическому принципу, то есть влажность определяется изменением веса образца в результате испарения влаги вследствие его нагревания.

Для измерений относительной влажности готовили образцы семян и жмыха массой 2...10 г. Подготовленный материал равномерно распределяли в чашке прибора, чтобы увеличить площадь поверхности образца и облегчить поглощение тепла. Далее выбирали температуру, до которой образец нагревается и при которой содержится до окончания опыта.



**Рис. 1.** Анализатор влажности Mettler Toledo HG 63 (а) и распечатанные результаты эксперимента (б).  
**Fig. 1.** The moisture analyzer Mettler Toledo HG 63 (a) and printed out results of the experiment (b).



**Рис. 2.** Прибор кольцевого сдвига Шульца RST-01.PC для определения коэффициента трения: (а – схема; б – общий вид)

**Fig. 2.** The Schultz's an annular shear device RST-01.PC for determining the coefficient of friction: (a – scheme; б – general view)

Во время сушки непрерывно контролировали массу образцов. Если в течение времени, заданного программой прибора, потеря массы образца во время сушки не превышала заранее заданного значения  $\Delta m$ , то испытания считали законченными, а результаты распечатывали (рис. 1, б).

По результатам измерений трех образцов относительная влажность семян льна составляла  $\psi = 10...13\%$ , а жмыха –  $\psi = 10...13\%$ .

Определение значений углов  $\varphi$  и коэффициентов трения  $f$  проведены на приборе RST-01.PC (рис. 2) в лаборатории Института агрофизики Польской академии наук (г. Люблин, Республика Польша).

Перед началом работы производили настройку программного обеспечения прибора Шульца RST-

01.PC: задавали количество различных значений нормальных нагрузок и давление для каждого значения. Для всех случаев было избрано пять различных значений нормальных нагрузок, которые соответствовали нормальным давлениям (нормальным напряжениям)  $\sigma_n = 1000$  Па,  $\sigma_n = 2000$  Па,  $\sigma_n = 4000$  Па,  $\sigma_n = 8000$  Па и  $\sigma_n = 16000$  Па. Поскольку площадь контакта материала с металлическими пластинами одинаковых размеров была известна, то для каждого значения давления автоматически рассчитывалась необходимая нормальная нагрузка  $N$ .

Перед началом каждого эксперимента на электронных весах Axis с точностью до 0,01 г определяли массу камеры сдвига с металлической пластиной, засыпали материал (семена льна или макуху) в камеру сдвига и определяли массу материала вместе с камерой (рис. 3). Данные взвешиваний также вноси-

ли в соответствующие текстовые поля программной среды прибора Шульца. Таким образом, учитывалось влияние массы семян или макухи, которая в каждом отдельном случае была неодинакова, а также влияние масс пластин различных материалов, которые в свою очередь также были неодинаковыми, на изменение нормальной нагрузки, что учитывалось во время расчёта углов и коэффициентов трения.



**Рис. 3.** Взвешивание исследуемого материала на электронных весах Axis

**Fig. 3.** Weighting the test material on the electronic balance Axis

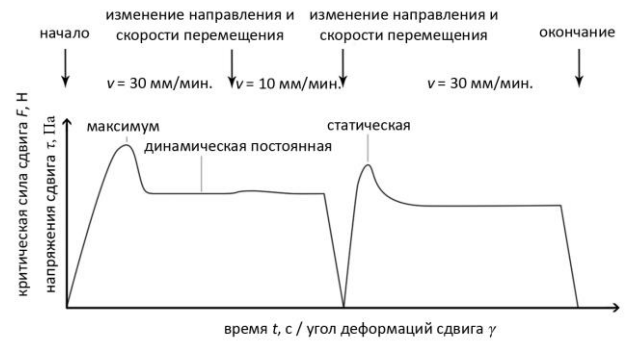
Далее работа прибора происходила в автоматическом режиме в такой последовательности. Камера с исследуемым материалом предварительно нагружалась нормальным усилием  $N$  для создания давления 500 Па с целью его уплотнения. Нормальную нагрузку  $N$  увеличивали до достижения очередного (из предварительно заданного списка) значения нормальных напряжений сжатия  $\sigma_n$ . Когда необходимая нормальная нагрузка была создана, камера сдвига начинала вращательное движение по часовой стрелке со скоростью 30 мм/мин., которое длилось 3 минуты.

По истечении этого времени направление движения изменяли на противоположенное с другой скоростью 10 мм/мин.

Во время эксперимента датчиками непрерывно фиксировали значения критической силы сдвига  $F(t)$ , рассчитывали критические напряжения  $\tau(t)$  и углы деформаций сдвига  $\gamma$ , которые им соответствовали. Результаты измерений и расчётов выводились на монитор (рис. 4) и записывались в отдельный файл результатов для заданного значения  $\sigma_n$ . Цикл изменения направления и скорости вращательного движения повторяли трижды для каждого значения  $\sigma_n$ .

В начальный момент движения, а также после восстановления движения в противоположенном направлении и с измененной скоростью, критиче-

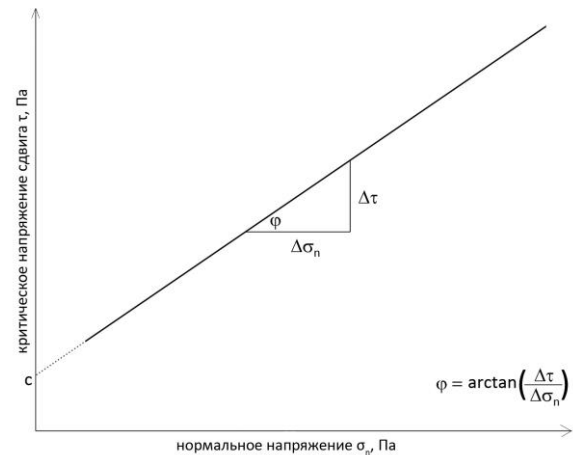
ское усилие сдвига  $F(t)$ , которое фиксировали датчики, и, соответственно, напряжения сдвига  $\tau(t)$ , которые рассчитывались, достигали максимальных значений, соответствующих трению покоя. После начала движения критические усилия сдвига  $F(t)$  и, соответственно, критические напряжения сдвига  $\tau(t)$  несколько уменьшались и стабилизировались на уровне, который соответствует трению скольжения (рис. 4).



**Рис. 4.** Изменение критической силы сдвига (напряжений сдвига  $\tau$ ) от угла деформации сдвига  $\gamma$  для сыпучих материалов

**Fig. 4.** Change of the critical shear force (shear stress  $\tau$ ) on the angle of shear deformation  $\gamma$  for bulk materials

После окончаний эксперимента для каждого из пяти принятых значений  $\sigma_n$  программное обеспечение прибора рассчитывало средние значения критических напряжений сдвига  $\tau$ , сохраняло результаты в файл, а на монитор выводился график (рис. 5) для расчёта угла трения  $\phi$  и коэффициента трения  $\mu$ .



**Рис. 5.** Зависимость средних критических напряжений сдвига  $\tau$  от нормального напряжения  $\sigma_n$

**Fig. 5.** The dependence of the average critical shear stress  $\tau$  from the normal pressure  $\sigma_n$

Для расчётов программное обеспечение прибора принимает линейный характер зависимости критических напряжений сдвига  $\tau$  от нормального давления  $\sigma_n$ . Экстраполяция линий регрессии для  $\sigma_n = 0$  дает  $(\tau = c) > 0$ .

Величину  $c$ , которая характеризует плотность материала под некоторым начальным давлением (в нашем случае 500 Па), называют когезией [10].



Коэффициент  $\mu$  и угол трения  $\varphi$  определялись из соотношения:

$$\mu = \frac{\Delta\tau}{\Delta\sigma_n} \operatorname{tg}\varphi. \quad (1)$$

Поскольку рабочие органы шнековых прессов (шнек, зейер, питательный бункер, нагнетательный шнек), изготовлены из разных материалов, то в исследованиях использованы листовые поверхности необработанной стали, оцинкованной стали, нержавеющей стали и алюминия.

Результаты экспериментов обрабатывались программным обеспечением измерительного прибора *RST-01.PC* и выводились на устройства внешнего вывода в виде зависимостей (рис. 6, 7).

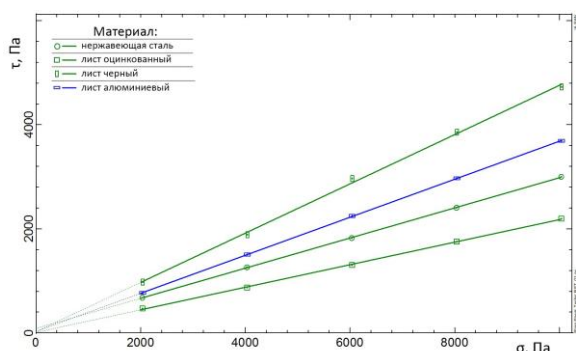


Рис. 6. Зависимости для определения углов трения скольжения жмыха льна по поверхностям разных материалов

Fig. 6. Dependencies to determine the angle of sliding friction of flax meal on the surfaces of different materials

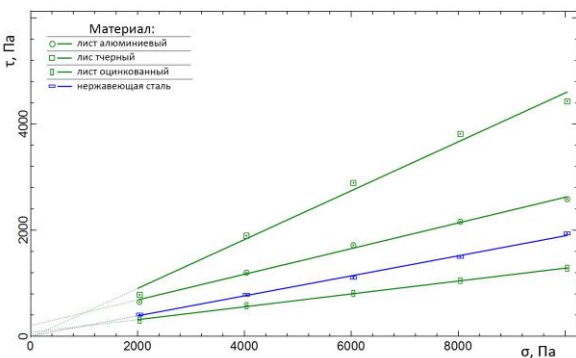


Рис. 7. Зависимости для определения углов трения скольжения семян льна по поверхностям разных материалов

Fig. 7. Dependencies to determine the angle of sliding friction of flax seeds on the surfaces of different materials

Значения коэффициентов сухого трения скольжения семян и жмыха льна, полученные в результате экспериментальных исследований, приведены в табл. 1.

В первую очередь следует отметить, что в общем случае значения коэффициентов сухого трения скольжения для жмыха льна выше, чем для семян. Во-вторых, значения коэффициентов сухого трения скольжения жмыха и семян льна по поверхностям разных материалов существенно

отличаются. В частности, максимальные значения коэффициента трения скольжения получены для поверхности необработанной стали, а минимальные – для поверхности оцинкованной стали (табл. 1).

**Таблица 1.** Результаты определения значений коэффициента трения скольжения семян и жмыха льна

**Table 1.** The results of determining the values of the coefficient of sliding friction of flax seeds and their cakes

Поверхность листового материала	Материал			
	жмых льна		семена льна	
	Угол трения скольжения, $\varphi$	Коэффициент трения скольжения, $\mu$	Угол трения скольжения, $\varphi$	Коэффициент трения скольжения, $\mu$
Необработанная сталь	25,3°	0,47	24,7°	0,46
Алюминий	20,1°	0,36	13,6°	0,24
Нержавеющая сталь	16,1°	0,28	10,7°	0,19
Оцинкованная сталь	12,2°	0,21	6,9°	0,12

## ВЫВОДЫ

Значения коэффициентов трения скольжения жмыха и семян льна существенно различаются в зависимости от того, по поверхности какого материала происходит скольжение, что необходимо учитывать в проектных расчётах машин и оборудования. Коэффициент сухого трения скольжения для жмыха льна выше, чем для семян льна. Наиболее существенная разница между значениями коэффициентов трения получена для условий трения скольжения по поверхности оцинкованной стали, а наименее существенная – для условий трения скольжения по поверхности необработанной стали. Полученные результаты дают возможность рационального выбора материалов для рабочих органов машин, а также могут быть использованы для обоснования рациональных режимов многократного отжима масляного сырья шнековыми прессами.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кузьминский Р.Д., Василькевич В.О. 2011. Определение коэффициента трения семян масляного льна по стальным поверхностям различной шероховатости. Сборник научных статей ЛГТУ: Сельскохозяйственные машины. Вып.21. Т.1, 222–228. (Украина).
2. Патент №42802 U Украины, МПК В30В 9/02. Масличный пресс с системой активированной подачи семян / Р.С. Шевчук, В.О. Василькевич, В.В. Томюк. – Заявл. 08.01.2009; опубл. 27.07.2009, бюл. №14, 4 с. (Украина).

3. Шевчук Р.С., Василькевич В.О., Томюк В.В. 2009. Шнековый маслоотжимной пресс. Тракторы и сельхозмашины. №10, 11–12.
4. Хайлис Г.А. 1994. Механика растительных материалов. – Киев: УААН. – 150. (Украина).
5. Bagherpour H., Minaei S., and Khoshtaghaza M.H., 2010. Selected physico-mechanical properties of lentil seed. *Int. Agrophys.*, 24, 81-84.
6. Bargale P.C., Singh J. 2000. Oil expression characteristics of rapeseed for a small capacity screw press / *Journal of Food Science Technology*. V. 37. 130–134.
7. Coskuner Y., Karababa E. 2007. Some Physical Properties of Flaxseed (*Linum usitatissimum* L.). *J. Food Eng.*, 78: 1067–1073.
8. Gharibzahedi S.M.T., EtemadV., Mirarab-Razi J., and Fos'hat M., 2010. Study on some engineering attributes of pine nut (*Pinus pinea*) to the design of processing equipment. *Res. Agr. Eng.*, 56(3), 99-106.
9. Izli N., Unal H., and Sincik M., 2009. Physical and mechanical properties of rapeseed at different moisture content. *Int. Agrophys.*, 23, 137-145.
10. Mohsenin, N.N. 1978. *Physical Properties of Plant and Animal Materials*. Gordon and Breach Science Publishers, New York, 891.
11. Safieddin Ardebili M., Najafi G., Ghobadian B., Tavakkoli Hashjin T. 2012. Determination of Some Mechanical Properties of Castor Seed (*Ricinus communis* L.) to Design and Fabricate an Oil Extraction Machine / *J. Agr. Sci. Tech*. Vol. 14: 1219-1227.
12. Ogunniyi D. S. 2006. Castor Oil: A Vital Industrial Raw Material. *J. Biores. Tech.*, 97: 1086-1091.
13. Olaoye J. O. 2000. Some Physical Properties of Castor Nut Relevant to Design of Processing Equipment. *J. Agr. Eng. Res.*, 77(1): 113–118.
14. Safieddin Ardebili M., Najafi G., Ghobadian B., Tavakkoli Hashjin T. 2012. Determination of Some Mechanical Properties of Castor Seed (*Ricinus communis* L.) to Design and Fabricate an Oil Extraction Machine / *J. Agr. Sci. Tech*. Vol. 14: 1219-1227.
15. Singh J. Bargale P.C. 1990. Mechanical expression of oil from linseed (*linum usitatissimum* L) / *Journal of Oil Seeds Research*. V. 7, 106–110.
16. Singh J., Bargale P.C. 2000. Development of a small capacity doublestage compression screwpress for oil expression. *Journal of Food Engineering*. V. 43, 75–82.
17. Sacilik K., Ozturk R., and Keskin R., 2003. Some physical properties of hemp seed. *Biosyst. Eng.*, 86, 191-198.
18. Zheng Y.I., Wiesenborn D.P., Tostenson K., Kangas N. 2003. Screw pressing of whole and dehulled flax seed for organic oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. V.80, 1039-1045.
19. Zheng Y.I., Wiesenborn D.P., Tostenson K., Kangas N. 2005. Energy analysis in the screw pressing of whole and dehulled flaxseed. *Journal of Food Engineering*. V. 66, 193–202.
20. Ковалишин С., Паранюк В., Дадак В., Соколюк В. 2012. Оценка и выявление новых признаков делимости мелкосеменных смесей сельскохозяйственных культур. *Motrol – 2012. Commission of motorization and energetic in agriculture*. Vol. 14, №4. 160–164. (Украина).
21. Sokolovskiy O., Kuz'minskiy R., Sheremeta R. 2012. Effect of relative humidity on the geometrical parameters of the seeds of wheat and rye. *Motorization and power industry in agriculture. Motrol – 2012*. T. 14, 65–70.

COMPARISON OF THE SLIDING FRICTION  
COEFFICIENT OF LINSEED OF OIL VARIETIES  
AND LINSEED OIL CAKE OVER THE SURFACE  
OF DIFFERENT METALS

**Summary.** The technique and results of studies on the device RST-01.PC coefficient of sliding friction of seeds and linseed varieties of cake on the surface of various metals, used for the manufacture of machinery and equipment in the pharmaceutical, food and processing industries, are presented. It is found that the values of the coefficients of sliding friction of flax seeds and their oil cake on the surface of various materials differ significantly. The coefficient of dry sliding friction for flax cakes is higher than for the flax seeds. The most significant difference between the values of the friction coefficients obtained for the conditions of sliding friction on the surface of galvanized steel, and the least significant – for the conditions of sliding friction on the surface of raw steel.

**Key words:** flax seeds, cake, metal surfaces, dry friction, the coefficient of sliding friction.





## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ КОРМООБЕСПЕЧЕНИЯ МОЛОЧНЫХ ФЕРМ

*Анатолій Тригуба*

*Львовський національний аграрний університет  
ул. В. Великого, 1, Дубляни, Україна. E-mail: trianamik@gmail.com*

*Anatolij Tryhuba*

*Lviv National Agrarian University,  
St. Vladimir the Great, 1, Dubliany, Ukraine. E-mail: trianamik@gmail.com*

**Аннотация.** Разработаны научно-методические основы обоснования параметров систем кормообеспечения молочных ферм которые базируются на системно-факторном подходе к определению их эффективности, учитывают причинно-следственные связи между отдельными факторами эффективности этих систем и предусматривают имитационное моделирование технологических процессов выращивания кормовых культур и логистических процессов их заготовки.

Обосновано, что эффективность систем кормообеспечения молочных ферм предопределяется пятнадцатью группами факторов среди которых десять являются управляемыми и характеризуются конечным множеством показателей.

Предложенный метод обоснования параметров систем кормообеспечения молочных ферм предусматривает реализацию семи этапов, базируется на системно-факторном подходе и имитационном моделировании процессов производства кормов и логистических процессов их заготовки.

С помощью разработанной методики и компьютерной программы обосновано зависимости потребности в площадях для выращивания кормовых культур от поголовья молочного стада, которые являются основой имитационного моделирования технологических процессов их выращивания и транспортных процессов их заготовки.

На основании имитационного моделирования технологических процессов выращивания кормовых культур и логистических процессов их заготовки обосновано функциональные показатели использования технических средств и потребность в них. Установлены зависимости удельных затрат средств на выполнение технологических процессов выращивания кормовых культур и транспортных процессов от поголовья молочного стада. С помощью численного метода осуществлены оптимизационные расчеты параметров систем кормообеспечения молочных ферм. Обосновано параметры технического оснащения для кормообеспечения молочных ферм при которых существуют минимальные удельные совокупные затраты средств на производство кормов.

Обоснована целесообразность создания сельскохозяйственных производственных кооперативов для кормообеспечения семейных молочных ферм что позволит уменьшить себестоимость производ-

ства кормов благодаря эффективному использованию их технического оснащения.

**Ключевые слова:** молочное скотоводство, система кормообеспечения, параметры, техническое оснащение.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Неудовлетворительное состояние технического потенциала большинства производителей молока является причиной уменьшения объемов посева кормовых культур, несоответствия технологий их выращивания, несвоевременности выполнения отдельных операций, что в конечном итоге снижает эффективность как производства кормов, так и функционирования молочных ферм [1-3]. Для решения этой практической проблемы нужно решать несколько научно-прикладных задач, наиболее важными из которых является обоснование параметров систем кормообеспечения молочных ферм и определение эффективного направления развития этих систем для отдельных территорий (поселковых советов и т.п.).

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИСЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Вопросам обоснования параметров систем кормообеспечения отдельных молочных ферм посвящено ряд научных работ как отечественных [1-8], так и иностранных ученых [9-10]. Анализ этих работ свидетельствует о том, что действующие методы определения потребности в технике для кормообеспечения характеризуется многими недостатками, в частности ими не учитывается то, что во время выращивания кормовых культур моменты возникновения требований на выполнение механизированных процессов в отдельные календарные годы не совпадают, а являются событиями случайными [18-20]. Это делает невозможным адекватное отображение механизированных процессов моделями, а затем - объективное определение потребности в технике. Кроме того, поля для выращивания кормовых культур рассредоточены на определенной территории. С ростом поголовья коров молочной фермы и соответственно потребности в кормах, растут площади полей для выращивания кормовых культур и расстояние от них до молочной фермы. В то же время расходы на транспортные процессы (доставка семян и

минудобрений, транспортировка собранных кормовых культур и т.п.) с увеличением поголовья коров молочной фермы также растут. Итак, для объективного обоснования параметров систем кормообеспечения молочных ферм следует учитывать территориальное расположение полей с кормовыми культурами и соответственно затраты на логистические процессы.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Обосновать научно-методические основы определения параметров систем кормообеспечения молочных ферм на основании имитационного моделирования механизированных процессов выращивания кормовых культур и логистических процессов их заготовки, а также на их основании определить потребность в техническом обеспечении.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Система кормообеспечения является обслуживающей для системы производства молока. Объективно обосновать параметры систем кормообеспечения молочных ферм невозможно без моделирования механизированных процессов выращивания кормовых культур и их логистических процессов, в которых используется техника являющаяся составной этих параметров. В то же время, моделирование этих процессов требует их системного анализа [11, 14-16]. Этот анализ позволяет выделить следующие основные группы факторов эффективности систем кормообеспечения молочных ферм (рис. 1): 1) предметных ( $\Pi$ ); 2) технологических ( $T_n$ ); 3) технических ( $T_n$ ); 4) производственных ( $B_p$ ); 5) климатических ( $K$ ); 6) социальных ( $C$ ); 7) организационно-масштабных ( $O_m$ ); 8) управленческих ( $У$ ); 9) качественно-стандартных ( $Я_c$ ); 10) материально-ресурсных ( $M_p$ ); 11) энергетическо-ресурсных ( $\mathcal{E}_p$ ); 12) рыночных ( $P$ ); 13) законодательно-правовых ( $\mathcal{Z}_n$ ); 14) финансово-экономических ( $\Phi_e$ ); 15) информационных ( $I$ ).

Эффективность ( $E_K$ ) функционирования производственных систем кормообеспечения молочных ферм обусловлена следующими факторами:

$$E_K = f \left( \underbrace{\left( C, \Pi, T_n, T_d, B_p, O_m, У, I, M_p, E_p \right)}_{K_e}, \underbrace{\left( K, P, \Phi_e, Я_c, \mathcal{Z}_n \right)}_{H_e} \right). \quad (1)$$

Каждая из вышеуказанных групп факторов характеризуется отдельными показателями и принадлежит к управляемым ( $K_e$ ), неуправляемым ( $H_e$ ) и частично управляемым ( $Ч_k$ ). Возможность изменения управляемых групп факторов эффективности функционирования производственных систем кормообеспечения молочных ферм является одним из важнейших оснований обоснования их параметров. Учитывая это, больше внимания сосредоточим на причинно-следственных связях между выше описанными группами факторов.

Выделение и установление причинно-следственных связей между этими факторами фак-

тически есть первым этапом системного анализа механизированных процессов производства кормов и логистических процессов их заготовки. С этой целью исследуется формирование как отдельных технологических операций, так и частичных процессов – завершенных его фаз, а также выполнение процесса на отдельных полях. Это исследование в конечном итоге позволяет обосновать главные правила моделирования технологических и логистических процессов, в частности, учесть моделью как горизонтальные, так и вертикальные связи между отдельными операциями и частичными процессами.

Параметры технического обеспечения (технический фактор) вместе с производственными условиями (производственный фактор) обуславливают часовую производительность машинно-тракторных агрегатов и транспортных средств. Суточная же их производительность кроме этого является следствием климатически разрешенного времени выполнения процесса в течение суток (климатический фактор) и организованных режимов использования техники (числа смен) (управленческий фактор).

Моделирование механизированных процессов выращивания кормовых культур и логистических процессов их заготовки дает возможность осуществить синтез указанных групп факторов и раскрыть их совокупное действие при различных значениях управляемых факторов. Это в конечном итоге позволяет обосновать варианты технического оснащения системы кормообеспечения молочных ферм и определить среди них рациональный (оптимальный).

Таким образом, рассмотрены научно-методические основания обоснования параметров кормообеспечения молочных ферм базируется на системно-факторном подходе к выявлению совокупного действия главных групп факторов механизированных процессов производства кормов и логистических процессов их транспортировки. Для адекватного отражения механизированных процессов производства кормов и их логистических процессов моделью рассматриваются причинно-следственные связи между отдельными операциями, которые определяют очередность выполнения этих операций во время их моделирования. Вероятностный характер возникновения потребности в выполнении отдельных операций и ход механизированных процессов во времени учитывается моделью и позволяет определить потребность в техническом обеспечении на основе вероятных показателей эффективности (с учетом технологического риска).

Известно [13], что существует три варианта кормообеспечения молочного стада (производство кормов собственными ресурсами, закупка кормов и комбинированный), каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. Учитывая то, что на рынке Украины отсутствуют предприятия производящие основные корма для молочного стада, нами рассматривается вариант производства кормов с использованием собственных ресурсов. Производство, заготовка и хранение кормов для отдельных молочных ферм осуществляется на собственных или арендованных полях с использованием собственной тех-

ники и персонала. При этом возникает задача обоснования эффективных параметров систем кормообеспечения молочных ферм.

Обоснование параметров систем кормообеспечения молочных ферм осуществляется на основании имитационного моделирования процессов производства кормов и логистических процессов их заготовки. Составляющими технологических процессов производства кормов является основная обработка почвы и внесение удобрений, предпосевная обработка почвы, посев и уход за посевами, уборка кормовых культур. К логистическим процессам принадлежат транспортировка и складирование их урожая. При этом, наиболее затратными процессами является сбор кормовых культур и транспортировка их урожая. В то же время, расходы на транспортировку кормовых культур являются изменчивыми и зависят от расстояния, вида и объемов доставки кормов.

Моделирование процессов кормообеспечения молочных ферм выполняется на основании реализации следующих этапов: 1) для заданного способа содержания молочного стада и его поголовья обосновывают потребность в отдельных видах кормов и определяют площади полей для выращивания кормовых культур; 2) исследуют производственные условия (площади полей, расстояния от полей к молочной ферме, почвы и их плодородие и т.п.); 3) формируют кормовые севообороты и закрепляют кормовые культуры по реальным полям; 4) выполняют имитационное моделирование процессов выращивания кормовых культур и логистических процессов кормообеспечения для определения их функциональных и стоимостных показателей при заданном техническом оснащении и производственных условиях; 5) целенаправленно меняют марковый состав технического обеспечения и расположения кормовых культур на отдельных полях в соответствии с обоснованным севооборотом, повторяют процедуру имитационного моделирования процессов выращивания кормовых культур и логистических процессов и для каждого из вариантов определяют их функциональные и стоимостные показатели; 6) на основе сравнения различных вариантов технического обеспечения процессов производства кормов и логистических процессов с удельными расходами средств определяют их базовые параметры, при которых они минимальны; 7) целенаправленно меняя способ содержания и поголовья коров определяют удельные расходы средств на кормообеспечение молочного стада которые являются критерием определения оптимальных параметров соответствующей системы.

Обоснование потребности в отдельных видах кормов для молочного стада и определение площадей полей, которые следует отвести для выращивания кормовых культур, осуществляется на основании известного метода [15].

Исследование производственных условий кормопроизводства предусматривает идентификацию отдельных полей, которые будут использоваться для выращивания кормовых культур. Для этого используют публичную кадастровую карту Украины, кото-

рая доступна в сети Интернет [17]. Зная территориальное расположение молочной фермы, идентифицируют площади земель сельскохозяйственного назначения государственной и частной форм собственности. Кроме того, идентифицируют земли запаса и резервного фонда за пределами населенных пунктов для создания пастбищ.

Поля выбирают по критерию минимального расстояния ( $L_{нф} \rightarrow \min$ ) от центра поля к молочной ферме. Интернет ресурс с публичной кадастровой картой Украины дает возможность определять площади отдельных полей и расстояния ( $L_{нф}$ ) от их центра к месту расположения молочной фермы.

Во время набора полей ( $n_n$ ) для выращивания кормовых культур проверяется условие:

$$\sum_{i=1}^n S_i \geq S_p, \quad (2)$$

где:  $\sum_{i=1}^n S_i$  – суммарная площадь полей с землями сельскохозяйственного назначения которые будут использоваться для выращивания кормовых культур, га;  $S_p$  – расчетная площадь полей которые нужны для выращивания кормовых культур, га.

Набор полей из земель сельскохозяйственного назначения, которые будут использоваться для выращивания кормовых культур, осуществляется поочередным добавлением их площадей до тех пор, пока будет выполнено условие (2).

По информации землеустроительного отдела сельских советов, на территории которых расположены поля для выращивания кормовых культур, уточняют возможность аренды земель сельскохозяйственного назначения государственной и частной форм собственности, земель запаса и резервного фонда за пределами населенных пунктов для создания пастбищ. Кроме того, для каждого из выбранных полей уточняются виды почв, их плодородие и устанавливается потенциальная урожайность кормовых культур на этих полях.

Формирование кормовых севооборотов осуществляется с учетом рационов кормления молочного стада. Известно [5], что для молочного скотоводства следует использовать кормовые прифермерские и лугопастбищные севообороты, что позволит снизить затраты на логистические процессы и использовать зеленые корма полученные с пастбищ, которые являются более дешевыми по сравнению с кормами полученным из полевых севооборотов. Кроме того, кормовой севооборот дает возможность получить экологически чистые корма, так как борьба с сорняками и вредителями ведется исключительно биологическими и агротехническими методами. Однако, кормовые севообороты не обеспечивают достаточную потребность в кормах. Из-за отсутствия концентрата (или комбикормов для вариантов кормозабезпечення молочных ферм, которые предусматривают приобретение кормов у сторонних организаций) невозможно получить от молочного стада высокие надои.

Выбор схемы кормового севооборота следует проводить с учетом рациона кормления молочного стада и имеющихся площадей полей, которые идентифицированы во время исследования производственных условий молочной фермы.

Учитывая то, что технологические процессы выращивания кормовых культур и логистические процессы кормообеспечения принадлежат к сложным (составным этих процессов характерный изменчивый характер) для определения их функциональных и стоимостных показателей используют имитационное моделирование. При этом существует гипотеза о том, что для заданной площади выращивания кормовых культур существуют оптимальные параметры технического обеспечения ( $Z_{opt}$ ), при которых корма получаются из минимальными удельными совокупными затратами средств ( $B$ ):

$$\Phi(Z_{opt}) = B \rightarrow \min. \quad (3)$$

Для заданной площади выращивания кормовых культур и параметров технического обеспечения удельные совокупные затраты средств определяют по выражению:

$$B = B_{вир} + B_{лог}, \quad (4)$$

где:  $B_{вир}$  – удельные затраты средств на выполнение технологических процессов выращивания кормовых культур, грн/гол.;  $B_{лог}$  – удельные затраты средств на выполнение логистических процессов кормообеспечения, грн/гол.

Удельные затраты средств ( $B_{вир}$ ) на выполнение технологических процессов выращивания кормовых культур определяются по выражению:

$$B_{вир} = \frac{B_{вме} + B_{вук}}{n_k}, \quad (5)$$

где:  $B_{вме}$  – потери средств вследствие потерь урожая кормовых культур из-за несвоевременного выполнения технологических процессов их выращивания, грн;  $B_{вук}$  – расход средств на выполнение технологических процессов выращивания кормовых культур, грн.;  $n_k$  – поголовье молочного стада, гол.

Удельные затраты средств ( $B_{лог}$ ) на выполнение логистических процессов кормообеспечения определяются по выражению:

$$B_{лог} = \frac{B_{вмл} + B_{втр} + B_{вск}}{n_k}, \quad (6)$$

где:  $B_{вмл}$  – потери средств вследствие потерь урожая кормовых культур из-за несвоевременного выполнения логистических процессов кормообеспечения, грн;  $B_{вб}$ ,  $B_{втр}$ ,  $B_{вск}$  – соответственно затраты средств на выполнение логистических процессов транспортировки кормовых культур и складирования их урожая, грн.

На основании имитационного моделирования технологических процессов выращивания кормовых культур определяют следующие функциональные показатели: 1) средний объем несвоевременно выполненных  $u$ -х работ для  $k$ -й кормовой культуры ( $\bar{M}[S_k^u]$ ), га·суток; 2) среднегодовой объем фактически выполненных  $u$ -х работ для  $k$ -й кормовой куль-

туры  $r$ -м машинно-тракторным агрегатом  $\bar{M}[\Omega_r^{\phi}]$ , га.

На основании указанных функциональных показателей определяют потери средств вследствие потерь урожая кормовых культур из-за несвоевременного выполнения технологических процессов их выращивания по выражению:

$$B_{вме} = \sum_{i=1}^n \sum_k U_k \cdot k_{ei} \cdot S_{kj} \cdot t_{ki} \cdot V_k, \quad (7)$$

где:  $U_k$  – средняя урожайность  $k$ -й кормовой культуры для заданных производственных условий, ц/га;  $k_{ei}$  – коэффициент потерь урожая  $k$ -й кормовой культуры вследствие задержки исполнения  $u$ -х работ на одни сутки;  $S_{kj}$  – площадь  $k$ -й кормовой культуры, подлежащая выполнению  $u$ -х работ в  $j$ -е сутки, га;  $t_{ki}$  – количество суток после завершения агротехнически допустимого времени выполнения  $u$ -х работ по выращиванию  $k$ -й культуры, суток;  $V_k$  – рыночная стоимость  $k$ -й культуры, грн/ц.

Расходы средств ( $B_{вук}$ ) на выполнение технологических процессов выращивания кормовых культур определяются по выражению:

$$B_{вук} = B_a + B_{втр} + B_{вм} + B_{он} + B_{вм}, \quad (8)$$

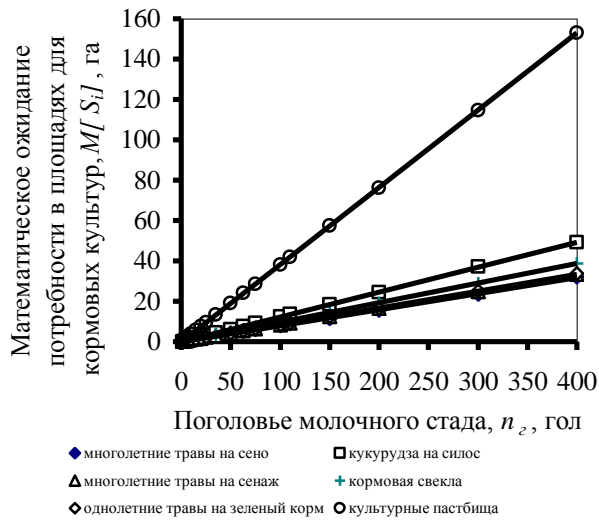
где:  $B_a$  – отчисления на амортизацию техники, грн;  $B_{втр}$  – отчисления на текущий ремонт и техническое обслуживание техники, грн;  $B_{вм}$  – стоимость израсходованных горюче-смазочных материалов, грн;  $B_{он}$  – оплата труда работников, грн;  $B_{вм}$  – стоимость расходных материалов, грн.

В настоящее время в Украине достаточно актуальным является вопрос создания молочных ферм семейного типа. В то же время, остается нерешенной задача обоснования параметров систем кормообеспечения таких ферм. На основании использования выше описанного метода обоснуем параметры технического оснащения для молочных ферм семейного типа.

Принято, что содержание коров осуществляется стойлово-пастбищным способом, который является характерным для условий западного региона Украины. Определение потребности в кормах и площадях для их выращивания выполняли с помощью компьютерной программы разработанной на кафедре управления проектами и безопасности производства Львовского национального аграрного университета. В основе этой программы лежит методика определения потребности в кормах для молочного стада с учетом меняющихся природно-производственных условий и производительности коров. Для дальнейших исследований принято условие, что годовой надой коров составляет 6000 кг молока, что обеспечивается рационом кормления коров без использования концентрата. Производство кормов для молочного стада происходит на полях с кормовым севооборотом, в состав которой входят многолетние травы на сено и сенаж, кукуруза на силос, кормовая свекла, однолетние трав на зеленый корм. В летний пе-

риод коровы пасут на культурных пастбищах с дополнительной прикормкой зелеными кормами с однолетних трав.

Зависимости потребности в площадях для выращивания кормовых культур от поголовья молочного стада представлены на рис. 1.



**Рис. 1.** Зависимости потребности в площадях для выращивания кормовых культур от поголовья молочного стада

**Fig. 1.** Dependences of areas requirement for green crops growing from the dairy cattle head

Полученные зависимости потребности в площадях ( $S_i$ ) для выращивания кормовых культур от поголовья молочного стада ( $n_2$ ) описываются уравнениями:

многолетние травы на сено:

$$S_{ce} = 0.0793 n_2 - 0.0298, \quad (9)$$

многолетние травы на сенаж:

$$S_{cu} = 0.083 n_2 - 0.0024, \quad (10)$$

кукуруза на силос:

$$S_{cy} = 0.1232 n_2 + 0.0018, \quad (11)$$

кормовая свекла:

$$S_{xc} = 0.0966 n_2 + 0.0043, \quad (12)$$

однолетние трав на зеленый корм:

$$S_{om} = 0.081 n_2 - 0.0026, \quad (13)$$

культурные пастбища:

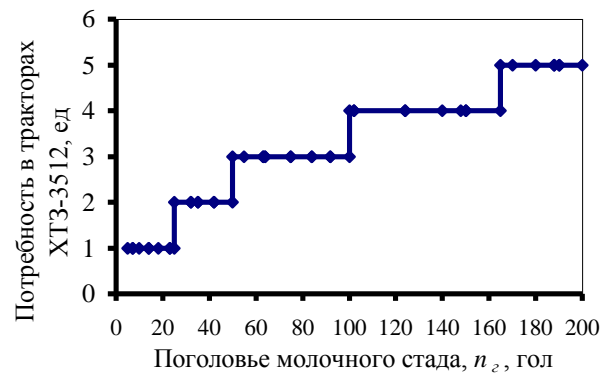
$$S_{kn} = 0.3823 n_2 - 0.0206. \quad (14)$$

Учитывая то, что семейные молочные фермы относятся к малым (до 200 голов), их техническое оснащение должно базироваться на энергетических средствах малой мощности. За базовое энергетическое средство принято отечественный трактор ХТЗ-3510, который относится к тяговому классу 0,6 и имеет мощность 25,7 кВт. Учитывая то, что на рынке отсутствуют сельскохозяйственные машины для уборки кукурузы на силос и кормовой свеклы, которые агрегируются с тракторами тягового класса 0,6, для сбора этих культур используется трактор МТЗ-82.1.26, который относится к тяговому классу 1,4 и имеет мощность 60 кВт. Комплектование машинно-тракторных агрегатов для выполнения отдельных технологических и транспортных операций осуществлялось с использованием имеющихся на рынке сельскохозяйственных машин. Стоимость

технического оснащения и расходных материалов для производства кормов принята та, что была на рынке Украины по состоянию на 1 мая 2015 г.

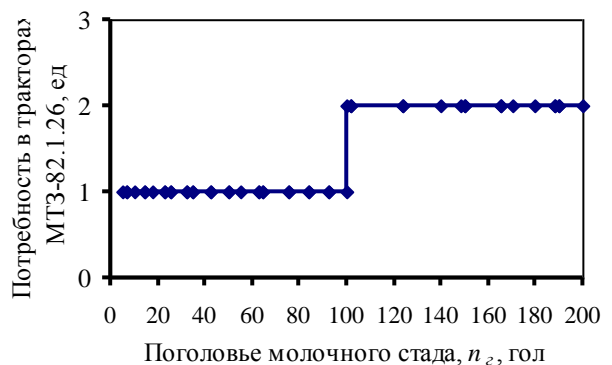
Имитационное моделирование процессов выращивания кормовых культур и логистических процессов кормообеспечения выполняли с помощью компьютерной программы разработанной в Национальном научном центре «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства». Сроки выполнения отдельных операций взяты из технологических регламентов на выращивание кормовых культур, а производительность отдельных машинно-тракторных агрегатов и расход топлива из типичных норм [8].

На основании имитационного моделирования процессов выращивания кормовых культур и логистических процессов кормообеспечения определили их функциональные показатели. В частности, обоснованно зависимости потребности в техническом оснащении для производства кормов от поголовья молочного стада (рис. 2-3).



**Рис. 2.** Зависимость потребности в тракторах ХТЗ-3510 для производства кормов от поголовья молочного стада

**Fig. 2.** Dependence of requirement of the ХТЗ-3510 tractors for forage production from the dairy cattle head



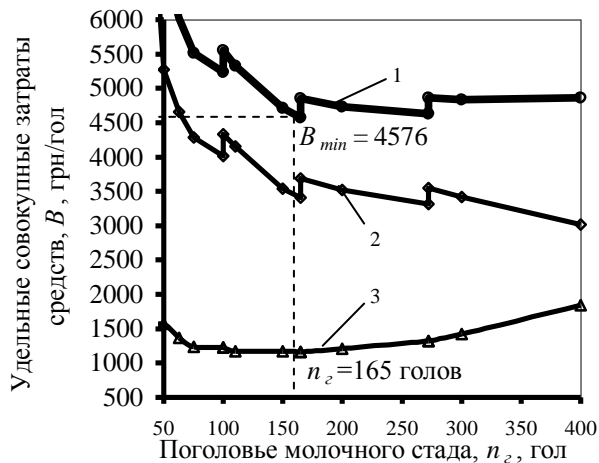
**Рис. 3.** Зависимость потребности в тракторах МТЗ-82.1.26 для производства кормов от поголовья молочного стада

**Fig. 3.** Dependence of requirement in the МТЗ-82.1.26 tractors for the production of forage from the dairy cattle head

Полученные зависимости (рис. 2-3) свидетельствуют о том, что потребность в техническом оснащении для производства кормов меняется дискретно

с ростом поголовья молочного стада. В частности, для обеспечения кормопроизводства малых молочных ферм (до 200 голов) потребность в тракторах ХТЗ-3510 изменяется от 1 до 5 ед, а тракторах МТЗ-82.1.26 от 1 до 2 ед.

На основании полученных функциональных показателей использования технического оснащения для производства кормов определены их стоимостные показатели. Это позволило установить зависимости удельных затрат средств на выполнение технологических процессов выращивания кормовых культур и транспортных процессов от поголовья молочного стада (рис. 4).



**Рис. 4.** Зависимости удельных совокупных затрат средств на производство кормов от поголовья молочного стада: 1 – удельные совокупные затраты средств на производство кормов; 2, 3 – соответственно удельные расходы средств на технологические процессы выращивания кормовых культур и транспортные процессы

**Fig. 4.** Dependences of the specific combined charges of money on the forage production from the dairy cattle head: 1 – the specific combined charges of money on the forage production; 2, 3 – accordingly specific charges of money on the technological processes of green crops growing and transport processes

Как видно из рисунка 4, удельные затраты средств на транспортные процессы изменяются с увеличением поголовья молочного стада плавно. Эти удельные затраты средств сначала снижаются (до 110 голов), что объясняется уменьшением амортизационных отчислений, а в дальнейшем растут, так как растут расстояния до полей и уменьшается производительность транспортных средств. Удельные затраты средств на выполнение технологических процессов выращивания кормовых культур уменьшаются с увеличением поголовья молочного стада дискретно. Уменьшение удельных расходов средств на технологические процессы выращивания кормовых культур с увеличением поголовья молочного стада объясняется ростом загрузки машинно-тракторных агрегатов, что является главным основанием использования численного метода для оптимизационных расчетов.

Рассматривая удельные суммарные затраты средств на производство кормов, наблюдаем наличие их минимального значения  $B_{min}=4576$  грн/гол. за поголовья молочного стада 165 голов. Относительно технического оснащения для производства кормов, то при таком поголовье молочного стада следует привлечь: тракторов ХТЗ-3510 – 4 ед; тракторов МТЗ-82.1.26 – 2 ед; дисковых борон 1ВQХ 1.9 – 1 ед; стогометов-погрузчиков СНУ-550 – 1 ед; прицепов тракторных ППТС-2.5 – 2 ед; разбрасывателей минеральных удобрений МВУ-0.5 – 1 ед; разбрасывателей органических удобрений SIP ORION 35 R – 1 ед; плугов ПМТ-01.00.000 – 1 ед; зубовых борон БЗСС-1,0 – 3 ед; агрегатов для транспортировки воды АПВ-3 – 1 ед; опрыскивателей ОГН-400 – 1 ед; культиваторов КУН-1.6 – 1 ед; сеялок 2ВУФ-5 – 1 ед; культиваторов орудников КОН-1.4 – 1 ед; ботвоуборочных машин БМ-6 – 1 ед; свеклоуборочных комбайнов КСП-2 – 1 ед; катков СКГ-2 – 1 ед; комбайнов кормоуборочных «Рось-2» – 1 ед; косилок КН-2.1 – 1 ед; граблей ворушилок Г-3.4 – 1 ед; пресс-подборщиков ПРФ-145Б – 1 ед.

На основании выше сказанного можно утверждать, что разработанные научно-методические основы дают возможность обосновать параметры системы кормообеспечения молочных ферм при заданных производственных условиях. Полученные результаты свидетельствуют о том, что при заданных производственных условиях эффективное производство кормов возможно при наличии поголовья молочного стада в пределах 165-272 голов. Для повышения ценности функционирования семейных молочных ферм с малым поголовьем коров следует создавать сельскохозяйственные производственные кооперативы. Эти кооперативы образуются путем объединения семейных молочных ферм для производства кормов, что позволяет уменьшить себестоимость их производства благодаря эффективному использованию технического оснащения.

## ВЫВОДЫ

1. С целью обоснования параметров систем кормообеспечения молочных ферм разработаны научно-методические основы которые базируются на системно-факторном подходе определения эффективности этих систем.

2. На основании выполненного анализа систем кормообеспечения молочных ферм установлено, что их эффективность обусловлена пятнадцатью группами факторов, среди которых десять являются управляемыми и характеризуются конечным множеством показателей. Возможность изменения управляемых групп факторов эффективности функционирования систем кормообеспечения молочных ферм является одним из важнейших оснований обоснования их параметров.

3. Предложенный метод обоснования параметров систем кормообеспечения молочных ферм предусматривает реализацию семи этапов и базируется на системно-факторном подходе и имитационном моделировании процессов производства кормов и логистических процессов их заготовки.

4. Для заданных предметных (годовой надой от коров – 6000кг молока), материально-ресурсных (рацион кормления коров – сено, сенаж, кормовая свекла, кукуруза на силос, зеленые корма и использования культурных пастбищ в летний период), производственных (пятипольный севооборот выращивания кормовых культур) и климатических (климатические условия малого Полесья Львовщины) факторов эффективности систем кормообеспечения молочных ферм с помощью разработанной методики и компьютерной программы обоснованно зависимости потребности в площадях для выращивания кормовых культур от поголовья молочного стада, которые являются основой имитационного моделирования технологических и транспортных процессов их выращивания и заготовки.

5. На основании имитационного моделирования технологических процессов выращивания кормовых культур и логистических процессов их заготовки обоснованно функциональные показатели использования технических средств и потребность в них. Установлено, что потребность в техническом оснащении для производства кормов меняется дискретно с ростом поголовья молочного стада и для малых молочных ферм (до 200 голов) потребность в тракторах ХТЗ-3510 изменяется от 1 до 5 ед, а в тракторах МТЗ-82.1.26 от 1 до 2 ед.

6. На основании функциональных показателей использования технического оборудования для производства кормов обоснованно зависимости удельных затрат средств на выполнение технологических процессов выращивания кормовых культур и транспортных процессов от поголовья молочного стада. Установлено, что удельные затраты средств на технологические процессы выращивания кормовых культур и транспортные процессы изменяются с увеличением поголовья молочного стада меняются с противоположным направлением, что является главным основанием использования численного метода для оптимизационных расчетов параметров систем кормообеспечения молочных ферм.

7. Установлено, что минимальные удельные затраты средств на функционирование систем кормообеспечения молочных ферм при заданных условиях существуют при поголовье молочного стада 165 голов и составляют  $B_{min}=4576 \text{ грн/гол}$ . Для повышения ценности функционирования семейных молочных ферм с малым поголовьем коров следует создавать сельскохозяйственные производственные кооперативы, что позволит производить корма для поголовья молочного стада в пределах 165-272 голов и даст возможность уменьшить себестоимость производства кормов благодаря эффективному использованию их технического оснащения.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Шацький В.В., Скляр О.Г., Милько Д.О. 2010.** Методология оптимизации параметров конкурентоспособного технико-технологического обеспечения животноводства. Тр. Таврического ГАТУ, Вып.10. Т.5, 119-128. (Украина).
2. **Новицький А.В., Ружи́ло З.В. 2014.** Мониторинг обеспечения молочного скотоводства машинами и оборудованием. Технический сервис агропромышленного, лесного и транспортного комплексов. №1, 56-62. (Украина).
3. Национальный проект «Возрожденное скотоводство». – К.: ДИА, 2011, 44. (Украина).
4. **Шарибура А., Городецький И., Грабовець В. 2011.** Повышение эффективности управления энергосберегающими проектами уборки сельскохозяйственных культур // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture – Lublin, Vol 13 D. 68-72.
5. Организация системы интенсивного кормопроизводства и круглогодичного однотипного кормления животных в молочном скотоводстве. Научно-практические рекомендации.– Х.: ИТ НААН Украины, 2010, 24. (Украина).
6. **Амбросов В.Я. 1971.** Организация кормопроизводства при высокой концентрации коров на фермах. Научный сб. Молочно-мясное скотоводство. – К.: Урожай, № 27. 86-91. (Украина).
7. Методические рекомендации по формированию специализированных сельскохозяйственных предприятий по производству продукции животноводства и обоснование рациональных размеров ферм и комплексов. За ред. В.Я. Мельсель-Веселяка. – К.: ННЦ «Институт аграрной экономики», 2007, 65. (Украина).
8. Удельные производственные нормативы животноводческих формирований различных производственных типов по зонам Украины. Нормативный научно-практическое пособие. – Харьков: Институт животноводства НААН Украины, 2010, 36. (Украина).
9. **Артюшин А.А., Скоркин В.К., Резник Е.И. 2002.** Обоснование оптимальной структуры системы кормопроизводства для молочных ферм. Науч. тр. ВНИИМЖ. Подольск, Т. 11. Ч. 2. 54-64.
10. **Резник Е.И. 1992.** Организация кормовой базы семейной молочной фермы. Кормопроизводство. № 1, 13-18.
11. **Сидорчук А. В. 2007.** Инженерия машинных систем – К.: Нац. акад. аграр. наук Украины, Нац. науч. центр «Ин-т механизации и электрификации сел. хоз-ва», 263. (Украина).
12. **Tryhuba A. 2014.** Argumentation of the parameters of the system of purveyance of milk collected from the private farm-steads within a single administrative district. Econtechhod : An international quarterly journal on economics in technology, new technologies and modelling processes.– Lublin-Rzeszow, Vol. 3, No. 4. 23-27.
13. **Тригуба А.Н. 2014.** Обоснование сценариев реализации технологически интегрированных программ развития молочного скотоводства // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin, Vol.16, No 4. 181-188.

14. **Сидорчук А.В. 2013.** Планирование механизированных зерноуборочных работ и проектов: [монография] за ред. В.В. Адамчука. – Нежин: Издатель П. П. Лысенко, 157. (Украина).
15. **Адамчук В.В. 2014.** Планирование проектов выращивания сельскохозяйственных культур на основании статистического имитационного моделирования: монография – Глеваха; Нежин: Издатель П. П. Лысенко, 223. (Украина).
16. **Сидорчук А.В., Тригуба А.Н., Рудинець Н.В. 2009.** Системный подход к управлению содержанием и временем в интегрированных проектах молочного скотарства // Научные записки Международного гуманитарного университета. – Одеса, Вип.16, 24–27. (Украина).
17. Публичная кадастровая карта Украины. - Режим доступа: <www.map.land.gov.ua>.
18. **Сидорчук А., Тригуба А., Макачук О. 2012.** Оптимизация длительности жизненного цикла интегрированных программ сбора зерновых культур // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin, Vol.14 (4), 131-140.
19. **Сидорчук А.В., Тригуба А.Н., Маланчук А.В. 2013.** Оценка ценностей сервисных программ аграрного производства // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin; Rzeszow, Vol.15 (4), 153-159.
20. **Лихочвор В.В., Городецкий И.Н., Сидорчук Л.Л., Городецкая Н.Г. 2012.** Управление образовательно-консультационной деятельностью в системе аграрного сервиса // Вестник Львовского НАУ: Агроинженерные исследования. № 16, 21-25. (Украина).

#### GROUNDING OF THE PARAMETERS OF SYSTEM OF DAIRY FARMS FEED SUPPLY

**Summary.** Developed scientific and methodical principles of grounding the parameters of the systems of dairy farms feed supply are based on system and factor

approach and take into account cause-and-effect relationship among the factors of efficiency of these systems and foresee the imitation simulation of technological processes of green crops growing and logistic processes of feed purveyance.

It is grounded that efficiency of the systems of dairy farm feed supply is predetermined by fifteen groups of factors among that ten are controlled and characterized by the finite set of indexes.

The proposed method of grounding the parameters of the systems of dairy farms feed supply foresees realization of seven stages and procedure is based on system and factor approach and the imitation simulation of technological processes of forage production and logistic processes of feed purveyance.

By means of the worked out methodology and computer program the dependences of requirements in areas for growing of green crops from the dairy cattle head are grounded that are basis of imitation simulation of technological and transport processes of forage crops growing and feed purveyance.

On the basis of imitation simulation of technological processes of green crops growing and logistic processes its purveyance the functional indexes of the technical equipment requirement and using are grounded. Dependences of specific charges of money are determined on technological processes of green crops growing of and transport processes from the dairy cattle head. By means of numeral method the optimization calculations of parameters of the systems of dairy farms feed supply are carried out. The parameters of the technical equipment are grounding for dairy farms feed supply for minimum specific combined charges of money on the production of forage.

Expediency of creation of agricultural productive cooperative are grounded for feed supply of domestic dairy farms, which will give an opportunity to decrease of forage production cost due to the effective use of technical equipment.

**Key words:** dairy farming, system of feed supply, parameters, technical equipment.



## МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ КАЛЕНДАРНОГО ГРАФИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

*Василий Тымочко, Роман Падюка*

*Львовский национальный аграрный университет*

*Ул. В. Великого, 1, Дубляны, Украина. Email: tymochko\_vo@mail.ru*

*Vasyl Tymochko, Roman Padyuka*

*Lviv National Agrarian University*

*St. Vladimir the Great, 1, Dubliany, Ukraine. E-mail: tymochko\_vo@mail.ru*

**Аннотация.** В данной работе проанализированы автоматизированные системы управления проектами относительно возможности их использования для построения календарных графиков работ в проектах сельскохозяйственного производства.

Учитывая большое количество технологических операций и видов ресурсов, которые применяются в проектах по производству растениеводческой сельскохозяйственной продукции, временные ограничения на календарные сроки выполнения операций, потребность прогнозирования потерь продукта проекта вследствие несвоевременного выполнения операций, возникает необходимость разработки специализированных моделей для автоматизированного календарного сетевого планирования данных проектов.

Обоснован метод построения календарного графика проекта, который учитывает множество операций технологии производства продукции и их директивные строки выполнения, наличие доступных технических ресурсов предприятия, возможные варианты взаимовлияния технологических операций на своевременность выполнения проекта и нарушение директивных сроков. Разработаны модели расчета ожидаемых потерь для разных временных ситуаций, что дает возможность определить ожидаемые потери продукта проекта, обусловленные нарушением директивных сроков выполнения операций в проекте.

Анализ календарного графика работ дает возможность определить работы проекта, которые вызывают наибольшие потери продукта и соответственно определить технические ресурсы, нехватка которых обуславливает эти потери. Для менеджера, который управляет проектом, эти данные являются основанием для принятия решений относительно обеспечения проекта достаточным количеством технических ресурсов. Если это не возможно, принимается решение относительно изменения масштаба данного проекта в сторону уменьшения, что приведет к уменьшению загрузки имеющихся технических ресурсов и соответственно минимизации потерь продукта проекта.

**Ключевые слова:** метод, модель, календарный график, проект, управление ресурсами.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Для повышения эффективности производства сельскохозяйственной продукции целесообразно применять методы проектно-ориентированного управления. Производство сельскохозяйственной продукции характеризуется всеми признаками проекта [1, 9]. Является ограниченным во времени, имеет ограниченные ресурсы для выполнения проекта и является уникальным, поскольку во время годового планирования проекта изменяются объемы производства продукции, площадь и конфигурация земельных участков, а во время реализации проекта постоянно изменяются погодные условия и возникает риск повреждения продукции вредителями и болезнями, выходят из строя технические ресурсы.

Все эти особенности приводят к необходимости решения задач относительно обоснования вида и календарной потребности необходимых производственно-технических ресурсов проекта на каждом этапе его реализации. К производственно-техническим ресурсам относятся трактора, сельскохозяйственные машины, комбайны, помещения и оборудование для первичной переработки и хранения продукции и т.п.

Системы управления проектами, такие как Microsoft Project, Primavera содержат в своем составе средства для календарно-сетевого планирования (КСП), поэтому такие системы широко применяются в разных отраслях промышленности, в строительстве и в инженерных проектах. Однако в названных системах не используется понятия физического объема работ, которым измеряются объемы работ в проектах сельскохозяйственного производства. Моделирование и составление календарных планов основываясь на оценке физического объема работ и производительности назначенных на работу ресурсов выполняется лишь в Spider Project [18].

Однако, производство растениеводческой сельскохозяйственной продукции имеет ряд существенных особенностей, которые делают невозможным использование традиционных методов сетевого и календарного планирования и этих систем без них усовершенствования.

Работы проекта по производству сельскохозяйственной продукции должны выполняться в опреде-

ленные календарные агротехнические сроки, которые определяются биологическими особенностями развития культур и видом работ. Преждевременное выполнение работ является не возможным, а выполнение работ свыше агротехнических сроков обуславливает не возобновляемые потери продукта проекта.

Учитывая большое количество технологических операций и видов ресурсов, которые применяются в проектах по производству растениеводческой сельскохозяйственной продукции, временные ограничения на календарные сроки выполнения операций, потребность прогнозирования потерь продукта проекта вследствие несвоевременного выполнения операций, возникает необходимость разработки специализированных моделей для автоматизированного календарного сетевого планирования данных проектов.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В работах [6-8, 11, 12, 19] рассмотрены особенности календарного сетевого планирования в разных автоматизированных системах управления проектами. Как правило, универсальные системы управления проектами, представленные на рынке, обеспечивают основной набор функциональных возможностей, которые включают: средства проектирования структуры работ проекта и планирование за методом критического пути; установление логических связей между работами; многоуровневое представление проекта; поддержка календаря проекта; средства планирования ресурсов и затрат; ведение списка имеющихся ресурсов, номенклатуры материалов и статей затрат; назначение ресурсов и затрат по работам; календарное планирование при ограниченных ресурсах. Использование автоматизированных систем управления проектами продолжительное время ограничивалось традиционными сферами (большими строительными, инженерными, оборонными проектами) и нуждалось в профессиональных знаниях. Но за последнее десятилетие ситуация в области использования программного обеспечения календарного планирования и управление проектами резко изменилась. Сегодня на рынке представлено значительное количество универсальных программных пакетов для персональных компьютеров, которые автоматизируют функции планирования и контроля проекта.

Изучая матрицы сравнения основных функций программ управления проектами, очень тяжело найти существенные отличия между ними. Обнаружить их в реализации отдельных функций удается лишь при детальном изучении и тестировании программы. Основные расхождения оказываются во время реализации функций ресурсного планирования и мультипроектного планирования и контроля.

Особенностью планирования в автоматизированных системах управления проектами является то, что работы по обыкновению не привязывают к конкретным датам, а лишь определяется их структура, взаимосвязь, продолжительность выполнения. Это позволяет системе использовать разные алгоритмы

оптимизации проекта, отслеживать изменения календарного графика проекта во время его реализации. Данная особенность является одной из главных причин непригодности к использованию автоматизированных систем для управления проектами сельскохозяйственного производства, поскольку работы сельскохозяйственных проектов строго привязаны к календарным срокам и фазам развития растений.

Кроме того известные работы [2] не дают возможности спрогнозировать потери продукта проекта через нарушение директивных сроков операций.

Для прогнозирования потерь продукта проекта уборки урожая зерновых культур используется имитационное моделирование процесса, которое дает возможность определить вероятностные показатели ожидаемых потерь [13]. Однако данная модель из-за своей сложности непригодна для использования во время календарного сетевого планирования проекта производства сельскохозяйственной продукции.

В работе [14] обоснован метод определения потерь урожая сельскохозяйственных культур вследствие несвоевременности выполнения отдельной технологической операции (механизированного процесса). Однако данный метод не учитывает взаимовлияние сопредельных технологических операций в проекте на объемы потерь урожая сельскохозяйственных культур вследствие их несвоевременного выполнения.

Разработан метод прогнозирования потерь продукта в проекте производства сельскохозяйственной продукции, который учитывает объемы производства, технологические требования относительно директивных сроков выполнения операций, свойства технических ресурсов и взаимосвязи операций, дает возможность определить ожидаемые потери продукта проекта обусловленные нарушениями директивных сроков выполнения технологических операций в проекте [5]. Этот метод может быть использован во время календарного сетевого планирования проекта производства сельскохозяйственной продукции

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью работы является разработка метода формирования календарного графика технологических операций процесса производства сельскохозяйственной продукции

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Во время планирования проекта производства сельскохозяйственной продукции необходимо учитывать особенностей использования множества материально-технических ресурсов  $\{R_i\}$  в зависимости от масштаба проекта  $S_i$ :

$$\{R_i\} = f(\{S_i\}). \quad (1)$$

Это делает возможным оценку выполнимости данного проекта по критерию достаточности имеющихся производственно-технических ресурсов.

Проект по производству сельскохозяйственной продукции выполняется на отдельном поле, поэтому возникает необходимость выполнять основные операции проекта на данном поле лишь последователь-

но, что делает невозможным параллельное выполнение операций.

Формирование календарного графика технологических операций в проекте производства растениеводческой сельскохозяйственной продукции выполняется в течение двух этапов.

На первом этапе на основании технологического регламента разрабатывается модель технологии, которая задает множество операций производства растениеводческой сельскохозяйственной продукции и агротехнически обусловленные календарные сроки их выполнения.

Технологический регламент является основным документом, который определяет допустимые границы изменения технологических параметров, порядок проведения операций технологического процесса, обеспечивает выпуск продукции надлежащего качества, безопасные условия эксплуатации производства и выполнение требований из охраны окружающей природной среды.

Каждая технологическая операция  $O_i$  в технологическом регламенте задается кортежем с такими атрибутами [16]: вид операции (пахота, культивация, химическая защита, и т.п.); множество агротехнических требований к операциям  $\{AV_i\}$  (глубина возделывания, норма внесения и т.п.); агротехнически-обусловленное время начала  $[\tau_i]$  и допустимая продолжительность выполнения операции  $[t_i]$ :

$$O_i = \langle VO_i, \{AV_i\}, [\tau_i], [t_i] \rangle. \quad (2)$$

Если бы все технологические операции в проекте выполнялись в течение агротехнически обусловленных директивных календарных сроков, то возможно было бы получить максимальную урожайность  $U_{max}$  и соответственно максимальный выход продукта проекта в условиях заданной технологии производства продукции.

Во время планирования проекта задается определенный объем производства  $Q$ , который в проекте производства растениеводческой сельскохозяйственной продукции является площадью поля, поэтому возникает задача сформировать календарный график работ проекта  $P$  при ограниченных производственно-технических ресурсах предприятия.

Каждая операция характеризуется агротехнически обусловленным директивным календарным временем начала  $[\tau_{s_i}]$  и допустимой продолжительностью выполнения  $[t_i]$ .

Определив для каждой отдельной операции агротехнические обусловленные календарные сроки ее начала и завершения, формируем модель технологии производства данной культуры рис. 1.

На втором этапе для каждой  $O_i$  операции осуществляется подбор такой сельскохозяйственной машины из множества  $\{Mi\}$  имеющихся в предприятии сельскохозяйственных машин, которая бы обеспечила выполнение заданного вида операции  $V_{oi}$  с соблюдением множества соответствующих агротехнических требований  $\{AV_i\}$ . Для самоходных сельскохозяйственных машин нужно определить из множества  $\{Ti\}$  энергетических средств такое средство для привода данной машины, которое обеспечит наиболее эффективное выполнение заданной технологической операции. Таким образом, получаем технический ресурс (машинотракторный агрегат) необходимый для выполнения заданной операции [16].

Для данного технического ресурса на основании учета его эксплуатационно-технических характеристик и множества факторов внешней среды, главными из которых является удельное сопротивление почвы поля, средний угол склона на поле; длина гона поля и состояние объекта преобразования (растения, или материала) определяется его сменная производительность  $w_v$  и удельная расход топлива  $g_p$ .

На основании сменной производительности технического ресурса определяется фактическая продолжительность  $t_i$  выполнения технологической операции  $O_i$  с учетом количества имеющихся технических ресурсов, а также его суточная производительность:

$$t_i = \frac{q_i}{w_{di}}, \quad (3)$$

$$w_{di} = w_v \cdot k_v \cdot k_p \cdot n, \quad (4)$$

где:  $q_i$  – объем работ, га, т, м<sup>3</sup>;  $w_{di}$  – суточная производительность агрегата;  $w_v$  – сменная норма выработки агрегата, га/см;  $k_p$  – коэффициент погодности для данного вида операции;  $k_v$  – коэффициент сменности,  $n$  – количество вовлеченных в работу агрегатов на данной операции из доступного множества  $\{Mi\}$  и  $\{Ti\}$ .

Технология производства продукции		Календарный срок выполнения проекта, суток										
Перечень операций для выбранной технологии		1	2	3	4	5	6	7	8	...	n	
1	Операция $a_1$	[ $\tau_{s1}$ ]			[ $\tau_{e1}$ ]							
2	Операция $a_2$	[ $t_1$ ]		[ $\tau_{s2}$ ]		[ $t_2$ ]		[ $\tau_{e2}$ ]				
...	...											
n	Операция $a_n$	[ $\tau_{sn}$ ]								[ $t_n$ ]		[ $\tau_{en}$ ]

Рис. 1. Модель технологии производства культуры  
Fig. 1. Model of plant production technology

Коэффициент погодности для данного вида операции характеризует часть времени продолжительности смены в течение которого погодные условия позволяют выполнять заданную технологическую операцию согласно агротехническим требованиям.

Календарное время начала операции  $\tau_{s_i}$ , при условии отсутствия влияния на нее предыдущей операции и наличия соответствующего машино-тракторного агрегата (МТА) задается агротехнически допустимым календарным временем начала операции  $[\tau_{s_i}]$ . В свою очередь календарный момент времени завершения операции  $\tau_{e_i}$  зависит от продолжительности выполнения технологической операции:

$$\tau_{s_i} = [\tau_{s_i}], \quad (5)$$

$$\tau_{e_i} = \tau_{s_i} + t_i. \quad (6)$$

В проекте производства растениеводческой сельскохозяйственной продукции различают два вида технологических операций – основные и вспомогательные.

Основная технологическая операция – действие или совокупность действий, направленных на смену положения или свойств обработочного материала, продукта или среды, и характеризуется объектом производства, оборудованием и исполнителями. Вспомогательная операция – это действие или совокупность действий, направленных на облегчение, улучшение или обеспечение выполнения основной операции [10]. К ним относятся операции по погрузке удобрений, транспортировка удобрений, воды или других необходимых ресурсов к месту проведения основной операции и т.п. Поскольку множество вспомогательных операций  $\{o_i\}$  предназначено для создания условий выполнения основной операции, то временные характеристики таких операций, а именно их начало  $\{\tau_{s_i}'\}$  и окончания  $\{\tau_{e_i}'\}$ , задаются соответствующими временными характеристиками основной технологической операции:

$$\{\tau_{s_i}'\} = \tau_{s_i}, \quad (7)$$

$$\{\tau_{e_i}'\} = \tau_{e_i}, \quad (8)$$

$$t_i = \max(t_i, \{t_i'\}). \quad (9)$$

При использовании высокопроизводительных МТА и их достаточном количестве, продолжительность выполнения операции  $t_i$  может быть меньше ее допустимой продолжительности  $[t_i]$ . Вследствие чего возникает резерв времени в течении которого можно смещать начало выполнения данной операции без возникновения потерь продукта табл. 1.

$$t_r = [t_i] - t_i. \quad (10)$$

Если продолжительность выполнения технологической операции превышает допустимый агротехнически разрешенный срок  $t_i > [t_i]$  (табл. 1), то возникает нарушение директивных сроков выполнения операции, что приводит к потери продукта проекта.

Для предупреждения несвоевременного выполнения операций меняют продолжительность рабочего времени или количество вовлеченных в работу машинно-тракторных агрегатов. Если обе меры не приводят к избеганию несвоевременного выполнения операций, тогда определяются потери продукта проекта от несвоевременного выполнения данной операции с помощью соответствующих моделей расчетов потерь, которые представлены в табл. 1.

Учитывая то, что проекты производства сельскохозяйственной продукции большей частью выполняются на отдельном земельном участке, а энергетические средства могут использоваться для выполнения разных операций, то это может служить причиной влияния предыдущей операции проекта на текущую операцию.

В таком случае начало текущей операции происходит после завершения предыдущей операции табл.1:

$$\tau_{s_i} = \tau_{e_{i-1}}. \quad (11)$$

Если момент времени начала операции не превышает установленный агротехнически разрешенный срок для выполнения данной операции  $\tau_{s_i} < [\tau_{e_i}]$ , потери продукта проекта от несвоевременного выполнения операций рассчитываются согласно модели (табл. 1.).

Если момент времени начала операции превышает установленный агротехнически разрешенный срок для выполнения данной операции  $\tau_{s_i} \geq [\tau_{e_i}]$ ,

тогда потери продукта проекта от несвоевременного выполнения операций состоят из двух составных частей: потерь вследствие ожидания завершения выполнения предыдущей операции  $Z_i'$  и потерь, которые возникают в течение выполнения данной операции  $Z_i$  (табл. 1). Общие потери продукта проекта в таком случае определяются из выражения:

$$\sum Z_i = Z_i' + Z_i. \quad (12)$$

Согласно описанному алгоритму осуществляются расчеты временных характеристик всех операций проекта, определяются ожидаемые потери продукта и строится календарный график проекта (рис. 2).

**Таблица 1.** Модели расчетов потерь продукта проекта вследствие несвоевременного выполнения операций

**Table 1.** Model calculations of product losses due to delays in project operations

	Название ситуации	Графическое представление ситуации	Характеристики технологической операции		
			Координата начала	Координата завершения	Модель расчетов потерь продукта
1	Предыдущая операция не влияет на текущую		$\tau_{s_i} \geq [\tau_{s_i}]$	$\tau_{e_i} \leq [\tau_{e_i}]$ $\tau_{e_i} = \tau_{s_i} + t_i$	Потери отсутствуют $Z_i = 0$
2			$\tau_{s_i} = [\tau_{s_i}]$	$\tau_{e_i} > [\tau_{e_i}]$ $\tau_{e_i} = \tau_{s_i} + t_i$	$Z_i = 0,5 \cdot U_{\max} \cdot q_{u_i} \cdot t_{u_i} \cdot \kappa_l$ $t_u = t_{e_i} - [t_{e_i}]$ $q_{u_i} = q - w_{d_i} \cdot ([\tau_{e_i}] - \tau_{s_i})$
3	Предыдущая операция влияет на текущую		$\tau_{s_i} < [\tau_{e_{i-1}}]$	$\tau_{e_i} = \tau_{s_i} + t_i$	$Z_i = 0,5 \cdot U_{\max} \cdot q_{u_i} \cdot t_{u_i} \cdot \kappa_l$ $t_{u_i} = t_{e_i} - [t_{e_i}]$ $q_{u_i} = q - w_{d_i} \cdot ([\tau_{e_i}] - \tau_{s_i})$
4			$\tau_{s_i} \geq [\tau_{e_{i-1}}]$	$\tau_{e_i} = \tau_{s_i} + t_i$	$Z'_i = q_{u_i} \cdot t'_u \cdot U_{\max} \cdot \kappa_{l_i}$ $t'_u = \tau_{s_i} - [\tau_{e_i}]$ $q_{u_i} = q - w_{d_i} \cdot ([\tau_{e_i}] - \tau_{s_i})$

- Своевременное выполнение операции;      - Выполнение операции с потерями;      - Ожидание выполнения операции без потерь;
   
 - Директивный срок выполнения операции;      - Ожидание выполнения операции с потерями;



- Своевременное выполнение операции;      - Выполнение операции с потерями;      - Ожидание выполнения операции без потерь;
   
 - Директивный срок выполнения операции;      - Ожидание выполнения операции с потерями;

**Рис. 2.** Календарный график проекта  
**Fig. 2.** The schedule of the project

На календарном графике векторы директивных сроков операций, векторы операций, векторы временных промежутков ожидания выполнения операций, векторы временных промежутков выполнения

операций с потерями подаются для удобства анализа в разном графическом формате.

Анализ технологических операций дает возможность определить операции проекта, которые вызывают наибольшие потери продукта и соответ-

ственно определить технические ресурсы, нехватка которых обуславливает эти потери. Для менеджера который управляет проектом, эти данные являются основой для принятия решений относительно обеспечения проекта достаточным количеством технических ресурсов путем кооперирования, найма, дополнительного приобретения данного вида ресурсов. Или если это не возможно, является основанием для изменения масштаба данного проекта в сторону уменьшения, поскольку уменьшение масштаба проекта приведет к уменьшению загрузки имеющихся технических ресурсов и соответственно минимизации потерь продукта проекта.

#### ВЫВОДЫ

1. Проекты производства сельскохозяйственной продукции имеют свои уникальные особенности, обусловленные ограничениями календарных сроков выполнения операции, что обуславливает потребность в разработке или усовершенствовании известных методов построения календарных графиков и управления данными проектами.

2. Обоснованный метод построения календарного графика, который учитывает возможные варианты взаимовлияния технологических операций на своевременность выполнения проекта и нарушение директивных сроков, что дает возможность определить ожидаемые потери продукта через нарушение директивных сроков выполнения операций в проекте.

3. Разработанный метод формирования календарного графика технологических операций процесса производства сельскохозяйственной продукции дает возможность обосновать потребность в дополнительных ресурсах или изменении масштаба проекта для предотвращения необратимых потерь продукта.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. A Guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide). USA: PMI Standards Committee. 216.
2. **Burski Z. 2011.** Badania operatora agregatu maszynowego jako rolniczego systemu antropotechnicznego. Motrol. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. Vol. 13D. 6-13.
3. **Holovach I. 2002.** Mathematical modeling of the development of machine-tractor park on the basis of the system of nonlinear integrated wolter equations of the first sort with a unknown bottom border of integration. «ТЕКА». Vol. 2. 52–59.
4. **Kalyuzhna N. 2013.** Structural contradictions in control system by enterprise as function of associate administrative decisions ECONTechMOD. An international quarterly journal. Vol. 2. No. 3. 33–40.
5. **Tymochko V., Padyuka R. 2014.** Prediction of losses in agricultural production output. ECONTechMOD. An international quarterly journal. Vol. 3. No. 4. 55-58.
6. **Авдеев, Ю. А. 1990.** Оперативное планирование в целевых программах, Одесса: Маяк, 132.
7. **Боборикина Л. Я., Гончаренко И. В., Капачина А. И. 2009.** Управление деятельностью предприятия на базе использования экономико-математических моделей сетевого планирования. Экономика: проблемы теории и практики. Сборник научных работ ДНУ. Вип. 256. Т. X. 2443-2447.
8. **Божко В.П., Потапова М.В. 2012.** Метод календарного планирования программных проектов в условиях неопределённости. Авиационно-Авиационно-космическая техника и технология. 245–252. (Украина).
9. **Бушуев С.Д., Бушуева Н. С., Ярошенко Ф.Ф. 2008.** Проактивное управление программами организационного развития. учебное пособие. К: КНУСА, 68. (Украина).
10. **Ильченко В.Ю. 1993.** Эксплуатация машинно-тракторного парка в аграрном производстве. К.: Урожай, 288. (Украина).
11. **Коробецкий Ю.П., Шаповалов В.Д. 2013.** Концепция управления материальными потоками в логистической системе. Научные вести Даливського университета. №10. (Украина).
12. **Прикин Б.В.** Календарное планирование строительного производства: Available online at:<<http://www.iatp.am/vahanyan/systech/avtor-232+.htm>>.
13. **Сидорчук О.В., Цип Є.И., Тымочко В.О. 2001.** Имитационная модель работы зерноуборочного комбайна в течение сезона. Вестник ЛГАУ. Агроинженерные исследования. Львов, №5.17-26. (Украина).
14. **Сидорчук О. Луб П., Татомир А., Бурилко А. 2005.** Метод определения потерь урожая сельскохозяйственных культур вследствие несвоевременности механизированных процессов полеводства. Механизация и энергетика сельского хозяйства “MOTROL 2005”. Одесса. Том №7. 87-91. (Украина).
15. **Тымочко В., Ковальчик Ю., Падюка Р. 2011.** Организационно-технологические меры энергосбережения во время сбора масляных и зерновых культур Motoryzacja i energetyka rolnictwa. Motrol-2011. том 13D. 22-30. (Украина).
16. **Тымочко В., Падюка Р. 2014.** Идентификация технических ресурсов в проекте производства сельскохозяйственной продукции с использованием нейронных сетей. Motrol-2014. An International journal on operation of farm and agri-food industry mashinery. Vol. 16. No. 4. 55-61.
17. **Тымочко В.О. Падюка Р.И. 2013.** Идентификация параметров производственно-технических ресурсов портфеля проектов сельскохозяйственного предприятия. Вестник Львовского НАУ. Агроинженерные исследования. № 17. 22-29. (Украина).
18. **Тымочко В.О., Падюка Р.И. 2013.** Возможности использования систем автоматизации управления проектами для условий сельскохозяйственного производства. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. №3/3 (63). 26-28. (Украина).

19. **Усов А.В., Максимов С.С. 2014.** Применение модели календарного планирования для проектного управления в строительстве. Восточно-Восточно-Европейский журнал передовых технологий. №1(4). 39-42.
20. **Шарибура А. Городецкий И., Грабовец В. 2011.** Повышение эффективности управления энергосберегающими проектами уборки сельскохозяйственных культур. Motrol-2011. Motoryzacja i energetyka rolnictwa. Vol. 13D. 68-72. (Украина).

METHOD OF SCHEDULE DIAGRAM FORMING OF TECHNOLOGICAL OPERATIONS OF AGRICULTURAL PRODUCTION PROCESS

**Summary.** In the articles the computer-based system of project management are analyzed in relation the possibility of CASS use for the construction of calendar charts of works in the projects of agricultural production.

Taking into account plenty of technological operations and types of resources that are used in projects of the production of agricultural plant-growing, as well temporal limits on the calendar terms of operations implementation and necessity of prognostication of product losses at project because of ill-timed implementation of operations, there is a necessity of development the

specialized models for the automated calendar network planning of these projects.

The method of construction of project calendar chart is grounded that takes into account the great number of operations of production technology and their directive lines of implementation, as well presence of accessible technical resources of enterprise, possible variants of mutual influence of technological operations on the timeliness of project implementation and violation of directive terms. The models of calculation of the expected losses are worked out for different temporal situations, that gives an opportunity to define the expected losses of project product, which caused by violation of directive terms of operations implementation in a project.

The analysis of calendar chart of works gives an opportunity to define works of project, that cause the most losses of product and accordingly to define technical resources the shortage of that stipulates these losses. For a manager that administrates a project, these data are founding for making decision in relation to providing of project by the sufficient amount of technical resources. If this is not possible manager makes decision as to the change of scale this project toward diminishing that will result in diminishing of loading of available technical resources and according to minimization of product losses of project.

**Key words:** method, model, calendar chart, project, management by resources.





## PECULIARITIES OF PROJECTS MANAGEMENT BY ADAPTIVE TECHNOLOGICAL SYSTEMS OF TILLAGE AND SOWING

*Oleksandr Sydorhuk<sup>1</sup>, Pavlo Lub<sup>2</sup>, Ivan Horodetsky<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*NSC Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture  
Vokzalna Str., 11, t. Glevaha, Ukraine, E-mail: sydov@ukr.net*

<sup>2</sup>*Lviv National Agrarian University  
V. Velykogo Str. 1, t. Dubljany, Ukraine. E-mail: ivanhor@i.ua*

*Александр Сидорчук<sup>1</sup>, Павло Луб<sup>2</sup>, Иван Городецкий<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*ННЦ «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»*

*ул. Вокзальная, 11, Глеваха, Украина. E-mail: sydov@ukr.net*

<sup>2</sup>*Львовский национальный аграрный университет  
ул. В. Великого, 1, Дубляни, Украина. E-mail: ivanhor@i.ua*

**Summary.** The initial condition of the adaptation of fertilizer application, secondary soil-tillage and sowing (FSTS) are defined as to the changing conditions of the project environment. The main tasks as to working out the methods and models of project management by adaptive technological systems are identified.

To construct of the FSTS adaptive technological systems in AE it is necessary to have got following elements with ability of decision of the proper task: 1) informative-analytical systems for the quantitative estimation of projects efficiency and their risk; 2) skilled personnel for monitoring of the work object state, conditions of project environment and forming of the computer experiments data base; 3) administrative constituent with the proper equipment – this personnel will use the informative-analytical systems, monitoring information and will evaluate the efficiency of works content and time of the projects; 4) the machinery complex; 5) necessary volume of labour, financial, informative resources and others like that.

Majority of the noted tasks are solved at the organizational level. However to create the informative-analytical systems it is necessary to develop the quantity of methods and simulation models which enable to take into account changeability of project environment conditions and adequately to represent this conditions influence on performance of the proper works. The computers experiments will enable to get the system of functional indexes, determine of their risks and evaluate of the efficiency of cost of the proper machinery and also ground of the parameters of machines adaptive complex in these projects.

**Key words:** projects, tillage, sowing, technique, conditions, changeability, adaptation, efficiency.

### INTRODUCTION

The high harvests of agricultural cultures are the initial condition of projects efficiency of the mechanized growing of agricultural cultures with minimum cost to implement the quantity of agronomic necessary works. Achievement of this purpose during of each certain year of projects realization is complicated by condi-

tion changeability of project environment – meteorological conditions, price changes, supply and demand of agricultural production market etc. As a result of this argumentation the agricultural enterprises (AE) have tasks to carry out the permanent monitoring and prognosis of project environment conditions and changes, and also "adapt" to them the quantity of following works: fertilizer application, soil-tillage and sowing (FSTS). The no-till technologies are not considered here through other peculiarities of works and operations.

### ANALYSIS OF RESEARCHES AND PUBLICATIONS

Available methods/procedures and models of grounding the parameters of the agricultural enterprises (AE) machinery complexes [7] are based on the norms of requirements in the technique of typical enterprises. The methods enable to set the complex of machines in relation to the agrotechnical fixed rates of doing the proper works in different climatic zones [3]. Application the available procedures for research of indexes of efficiency of the adaptive technological systems [8] does not enable to estimate the machinery complex that functions in changeable conditions. Thus the requirement of different machinery and equipment using is the changeable parameter and form according to current conditions of certain calendar year. The norms of technique requirements also do not enable to take into account efficiency of tactical actions in relation to management by the content and times in the projects of these systems [4]. There fore, during the development and implementation of FSTS projects there is a need to adapt the mechanized works to conditions of the project environment.

### THE PURPOSE OF THE RESEARCH

The purpose of the article is to reveal objective features due to the implementation of projects of adaptive technology systems to perform work on fertilization, soil preparation and sowing of crops and also to expose the necessity of systems development as to adaptation to the changeable condition of project environ-

ment. And according to that the main tasks should be described toward to development the methods and models of projects management by these complicated systems.

THE RESULTS OF RESEARCH

The main object of the mechanized technologies of agricultural cultures growing is to ensure the maximal volume of the yield output. Achievement of this purpose depends not only of the state and technical descriptions of machinery park of agricultural enterprise. The biological productivity of agricultural crops depends of the level of plants supplying with the "factors of vital activity" [5], which are predefined by the agricultural and meteorological conditions of single year, the soil condition and nutrients etc. In order the plants maximally use the noted conditions for the growth and development it is necessary to provide timely doing of work operations as to plants growing and in particular the FSTS works.

Results of regression analysis of many years data of multi factorial field experiments allow to get the mathematical models of yield crop due to the factors that determine it - soil moisture, the number of fertilizers rate; depth of plowing. Beside the minimum factors other combined factors or techniques of yield crop increase (plant density, their status etc.) are inserted into equations as well the meteorological parameters (temperature sum or average daily temperature during the growing season) in the case of having of data accumulation during many years.

Input data to build mathematical models are obtained through longstanding multivariate experiment, which studied the normalization factors which not exceeding optimum and change, mostly within the field limiting of response curve.

Under the marked conditions the mathematical model is a polynomial (polynomial) type:

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_n x_n, \quad (1)$$

where:  $Y$  – the yield of the crop variety or hybrid;  $b_0$  – free member of equation;  $b_1, b_2, b_n$  – regression coefficients corresponding to the independent variables (yield factors – by land reclamation and agronomic conditions - soil moisture, the number of plants, the depth of tillage, fertilizer rate, the average temperature during the growing season, etc.) accordingly  $x_1, x_2, x_n$ .

Thus, based on established patterns of harvest the active steps to implement the program are outlined and developed which is a way of organizing of the agrarian psychogenesis as systems to maximize the plants productivity on the basis of realization of potential opportunities.

Depending of the state of information ensuring and

logistical capabilities of the enterprise the different levels of yield may be planned to achieve [5]: potential yield – on the base of the biological capacity of agricultural crop, variety or hybrid, and available photosynthetically active radiation (PAR); really possible yield – the maximum possible yield under the existing meteorological and soil conditions; yield in a particular enterprise – meet the logistical capabilities of the particular enterprise or economy. The latest one is proposed maximize on the base of the projects of adaptive technology systems.

As a result of application of different FSTS technologies in AE the finite multitude of technological operations is formed and these operations must be carried out on the fields of AE for growing of the proper yield of cultures. System analysis of the conditions of project environment [6] gives the possibility to assert that the technological and agricultural meteorology reason enables to change the content and time of these works carried out.

Thus, during realization of FSTS projects the necessity of adaptation of the mechanized works to the terms of project environment is raised. In accordance with [1, 2, 9] the adaptive technological system means to adapt of the internal and external conditions to the changes of environment. Thus, it follows to understand under the FSTS adaptive technological system - such constituent of projects of crops growing which enables technologically to adapt to the out of control conditions of project environment and to ensure a timeliness and quality of technological operations. In this case, the maximally favourable soil conditions will be created for productive growth and development of agricultural plant (fig.1.).

Under the conditions of FSTS project environment it results to understand the descriptions of agricultural meteorology conditions of single season of works, soil state, presence the nutrients, plants and their tailings and others like that. A project environment forms requirements to FSTS works, and also as a result of action of agricultural meteorology conditions it predetermines changeability of the naturally settled fund of time to work implementation [6]. Then, to carry out the timely application fertilizers, preparation of soil and sowing of cultures, in the conditions of separate year it is needed in time to get the information about objects of work state, content and volumes of works, agricultural meteorology conditions and fund of time for work implementation. It is also needed to carry out the quantitative evaluation of efficiency indexes as to management by content and times in projects with the adaptive technological complex of machines.

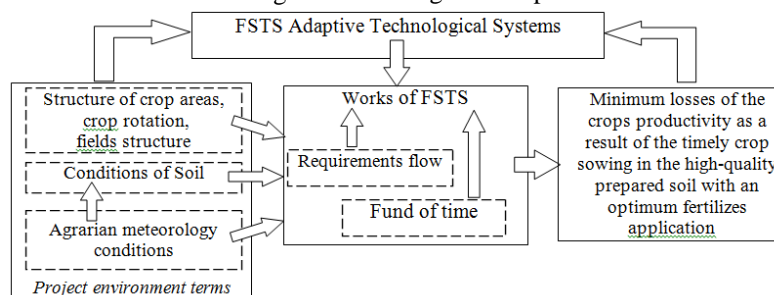
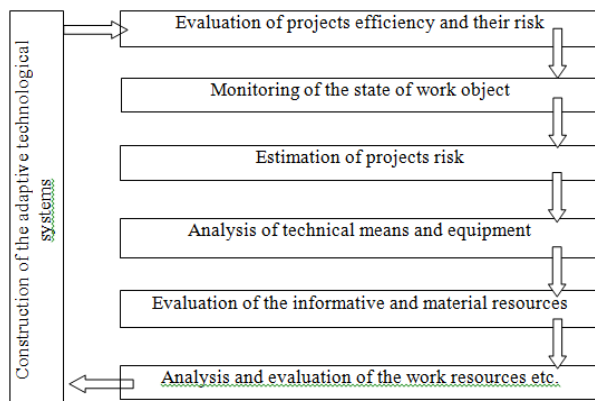


Fig.1. Interaction of projects component of the FSTS adaptive technological systems.

To effectively create the FSTS adaptive technological systems in AE it is necessary to ensure the existence and effective functioning of a number of sub-components (evaluating the effectiveness of projects, monitoring, risk assessment, etc.). The sub-systems allow forming the effective organizational and management system of modern enterprise (Fig. 2).



**Fig.2.** Scheme of construction of the FSTS adaptive technological systems in AE

Consequently, for construction of the FSTS adaptive technological systems in AE it is necessary to have got following elements with ability of decision of the proper task: 1) informative-analytical systems for the quantitative estimation of projects efficiency and their risk; 2) skilled personnel for monitoring of the work object state, conditions of project environment and forming of the computer experiments data base; 3) administrative constituent with the proper equipment – this per-

sonnel will use the informative-analytical systems, monitoring information and will evaluate the efficiency of works content and time of the projects; 4) the machinery complex; 5) necessary volume of labour, financial, informative resources and others like that.

Majority of the noted tasks are solved at the organizational level. However to create the informative-analytical systems it is necessary to develop the quantity of methods and simulation models which enable to take into account changeability of project environment conditions and adequately to represent this conditions influence on performance of the proper works. The computer experiments will enable to get the system of functional indexes, determine of their risks and evaluate of the efficiency of cost of the proper machinery and also ground of the parameters of machines adaptive complex in these projects.

The systems analysis of the projects of the FSTS adaptive technological systems enabled to select the amount of procedures and models which must be developed for creation of the afore-mentioned informative-analytical systems (Table 1).

Thus, the development and application of information and analytical systems will enable the agrarian companies to identify the need of technical equipment of the FSTS adaptive technology systems. The system can flexibly "adapt" to the current agrometeorological conditions and to perform the set of specialized works in FSTS mechanized processes. In practice, it will provide the right conditions for productive plant growth and their friendly seedlings, and to perform the necessary scope of work with minimal operating costs.

**Table 1.** Methods and models for the management by projects of FSTS adaptive technological systems

Methods and models	Descriptions
Monitoring and prognostication of the state of agricultural meteorology conditions and objects of work in the summer-autumn and spring periods	Database monitoring, statistical simulation model
Taking of current decisions as to relation of the content and time of works in accordance with the conditions of project environment	Simulation model
A reflection of peculiarities of FSTS works under act of stochastic conditions of project environment	Statistical simulation model
Quantitative evaluation of functional indexes of efficiency and risk of FSTS works in the projects of the adaptive technological systems	Statistical simulation model
A concordance of content and time of works with the changeable conditions of project environment	Statistical simulation model, data base of the computer simulation results
A concordance of adaptive machinery complex for FSTS operation with the parameters of the AE production program and changeable conditions of project environment	Statistical simulation model, data base of the computer simulation results

## CONCLUSIONS

The peculiarities of FSTS projects are the changeability of project environment which predetermines a necessity to adapt content and time of works to the seasonal conditions of their realization. To manage by these projects it is necessary to develop the informative-analytical systems which would enable to carry out the adequate reflection the influencing of external conditions on FSTS works and to get the proper indexes of efficiency. The cost evaluation of these indexes enables to ground the parameters of AE adaptive machinery complex. On the base of parameters of AE adaptive machinery complex it is possible also to estimate the efficiency of manage actions in relation to FSTS works adaptation to the conditions of project environment.

## REFERENCES

1. **Fomin V.N. 1981.** Adaptive management by dynamic objects / Fomin V.N., Fradkov A.L., Yakubovich B.A. / Main Edition of physical and mathematical literature. – M.: Science. – 448.
2. Great Explanatory Dictionary of the Ukrainian Language / Editor-in-chief V.T. Busel. – K.: Irpin: Perun, 2007. – 1736.
3. **Zavalishin F.S., Macnev M.G. 1982.** Researches methods of mechanization agricultural production. – M.: Kolos. – 226.
4. Manual of project management / Trunsl. from English., Editor-in-chief S. D. Bushuev. - 2nd., Revised. – K.: Type. Home "Business Ukraine", 2000. – 198.
5. **Lykhochvor V. 2008.** Plant growing. Technology of crops growing / V. V. Lykhochvor. – Lviv : Ukr. Technology. – 808.
6. **Lub P. 2006.** Grounding the parameters of the agricultural machinery farm complex: Abstract. of dissert. for a science candidate degree of Eng. Science of 05.05.11 "Machinery and means of agricultural production mechanization" / P. M. Lub. – Lviv. – 20.
7. **Pastukhov V.I. 2004.** Grounding the optimal machinery for mechanization of field work: Abstract. of dissert. for a science doctor degree of Engineering science at specials. 05.05.11 "Machinery and means of agricultural production mechanization" / V. I. Pastukhov. Kharkiv National University of Agrarian Engineering named after Petro Vasylenko. – Kharkiv. – 38.
8. **Sydorchuk O. V. 1990.** Technology requirements of mechanized process in plant growing to the rate of machines repairing / O.V. Sydorhuk, M.I. Karpa, V.O. Tymochko, S.A. Fedosenko / Increase the organizational and technical level of repair and recovery processes in the region agriculture : Lviv Agricultural Inst. – Lviv. – 84-90.
9. **Sragovych V. G. 1981.** Adaptive Management / V.G. Sragovych. – Moscow: Science. – 196.
10. **Sharybura A., Horodetskyi I., Hrabovets V. 2011.** Enhancing the effectiveness of management by energy saving projects of harvesting the agrarian crops / Motrol – Motoryzacja i energetyka rolnictwa. Lublin. – Tom 13 D. – 68-72.
11. **Sharybura A., Horodetskyi I. 2011.** Grounding the configuration of computer information and analytical system of management by project of flax harvesting // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies – № 1/7 (49). – 37–40.
12. **Tymochko V., Padjuka R. 2014.** Identification of technical resources in project of manufacturing of agrarian production with using of neuron net // Motrol-2014. An International journal on operation of farm and agri-food industry machinery. Vol. 16. No. 4. 55-61.
13. **Tymochko V., Padjuka R. 2013.** Identification of parameters of production and technical resources of the agrarian enterprise projects portfolio. Bulletin of Lviv NAU : Agrarian Engineering Research. – № 17. – 22-29. (Ukraine).
14. **Tymochko V., Padjuka R. 2013.** Possibility of using the system of computer management by projects in conditions of agriculture. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies – № 3/3 (63). – 26–28.
15. **Tryhuba A. 2014.** Argumentation of the parameters of the system of purveyance of milk collected from the private farm-steads within a single administrative district // ECONTECHMOD : An international quarterly journal on economics in technology, new technologies and modelling processes. – Vol. 3.– No. 4. – Lublin-Rzeszow. – 23-27.
16. **Tryhuba A. 2014.** Grounding the sceneries of realization the technology integrated program of dairy development // MOTROL Commission of motorization and energetic in agriculture. – Lublin, Vol.16, No 4. – 181-188.
17. **Sydorchuk O.V. 2013.** Estimation of values of service program of agriculture production / Sydorhuk O.V., Tryhuba A.M., Malanchuk O. V. // MOTROL / Commission of motorization and energetic in agriculture. – Lublin – Rzeszow, Vol.15, #4. – 153-159.
18. **Aljanakh I. N. 1988.** Modelling of Моделирование computation system / I. N. Aljanakh. – L. : Mashinostroenie. – 233.
19. **Dolja V. T. 1988.** Statistical modeling of production processes and system : [manual] / V. T. Dolja. – K. : UMKVO. – 140.
20. **Sydorchuk O., Lub P., Malanchuk O. 2014.** Impact of meteorological conditions on the need in adaptive performing of technological operations of soil tillage and crop sowing. ECONTECHMOD. An international quarterly journal. Poland, Lublin-Rzeszow, Vol. 3, № 4. – 35-38.

## РУЧНОЙ ВИБРОУДАРНЫЙ СТЯХИВАТЕЛЬ ПЛОДОВ

*Роман Шевчук, Роман Крупич*

*Львовский национальный аграрный университет  
Ул. В. Великого 1, Дубляны, Украина. E-mail: rshevchhook@i.ua*

*Roman Shevchuk, Roman Krupych*

*Lviv National Agrarian University  
St. Vladimir the Great 1, Dubliany, Ukraine. E-mail: rshevchhook@i.ua*

**Аннотация.** Модернизацией итальянского ручного вибрационного стряхивателя SC 105 создан ручной виброударный стряхиватель плодов, обеспечивающий повышение полноты съема плодов благодаря тому, что спектр частот стряхивания ветвей в месте их захвата охватывает диапазон необходимых частот стряхивания. Кроме того, в результате плотного контакта эластичных подушек захвата с корой ветвей достигается уменьшение повреждений коры. Модернизированный стряхиватель является ручным виброударным инерционным линейным стряхивателем ветвей кроны плодовых деревьев и относится к средствам механизированного съема плодов в садах, не подготовленных к механизированным плодуборочным работам, а также на склонах, террасах и в лесополосах, не доступных для тракторов.

**Ключевые слова:** ручной стряхиватель, плоды, дерево, крона, ветвь, полнота съема, частота стряхивания, вибрация, захват, спектр, диапазон.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Широко используемый итальянский ручной стряхиватель SC 105 [1] является вибрационным инерционным линейным стряхивателем ветвей кроны плодовых деревьев. Вибрационные средства [2–4] не всегда обеспечивают высокую, агротехнически необходимую полноту съема плодов, которая зависит от частоты стряхивания деревьев и, в частности, ветвей в месте их захвата. Плодоносные ветви имеют разные диаметры и длину, а от этих размеров зависит необходимая частота стряхивания ветвей, при которой достигается высокая полнота съема плодов, то есть диапазон необходимых частот стряхивания ветвей кроны довольно широк. Для обеспечения высокой полноты съема плодов спектр частот стряхивания ветвей в месте их захвата должен охватывать диапазон необходимых частот стряхивания.

В ручном стряхивателе SC 105 частота вибрационного стряхивания ветвей изменяется путем изменения частоты вращения коленчатого вала приводного двигателя внутреннего сгорания. Однако, изменяя частоту вращения коленчатого вала двигателя, спектр частот стряхивания ветвей не охватывает диапазона необходимых частот стряхивания, и полнота съема плодов низкая. Кроме того, стряхивателю характерно существенное повреждение коры в месте захвата ветвей, поскольку промежуток между эластичными подушками захвата стряхивателя по-

стоянный. Накладывая захват на ветви разных диаметров, не обеспечивается плотный контакт эластичных подушек с корой, и в результате ударов без предварительного формирования зоны контакта и скольжения захвата повреждается кора.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Исследование плодосъемных средств стряхивающего типа [2–4] свидетельствуют, что работы направлены как на совершенствование вибрационных средств, так и создание виброударных стряхивателей [5–10], базируемых на тракторах, шасси или специальных самоходных энергетических установках. Результаты исследований весомы, теоретически и практически значимы [11–18], однако требуют расширения в направлении создания ручных виброударных стряхивателей плодов [19, 20].

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Цель работы – модернизацией итальянского ручного вибрационного стряхивателя SC 105 создать ручной виброударный стряхиватель плодов, обеспечивающий повышение полноты съема плодов благодаря тому, что спектр частот стряхивания ветвей в месте их захвата охватывает диапазон необходимых частот стряхивания. Кроме того, в результате плотного контакта эластичных подушек захвата с корой ветвей необходимо достичь уменьшения повреждений коры.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Модернизированный ручной стряхиватель является ручным виброударным инерционным линейным стряхивателем ветвей кроны плодовых деревьев и относится к средствам механизированного съема плодов в садах, не подготовленных к механизированным плодуборочным работам, а также на склонах, террасах и в лесополосах, не доступных для тракторов.

Ручной виброударный стряхиватель [21, 22] содержит (см. рис. 1) возбудитель колебаний 1 кривошипно-ползунного типа, выполненный в виде корпуса 2, в опорах вращения которого на валах смонтированы ведущая 3 и ведомая 4 конические шестерни. На ведомой конической шестерне 4 установлен кривошип 5, шарнирно соединенный с шатуном 6, который шарнирно связан с ползуном 7,

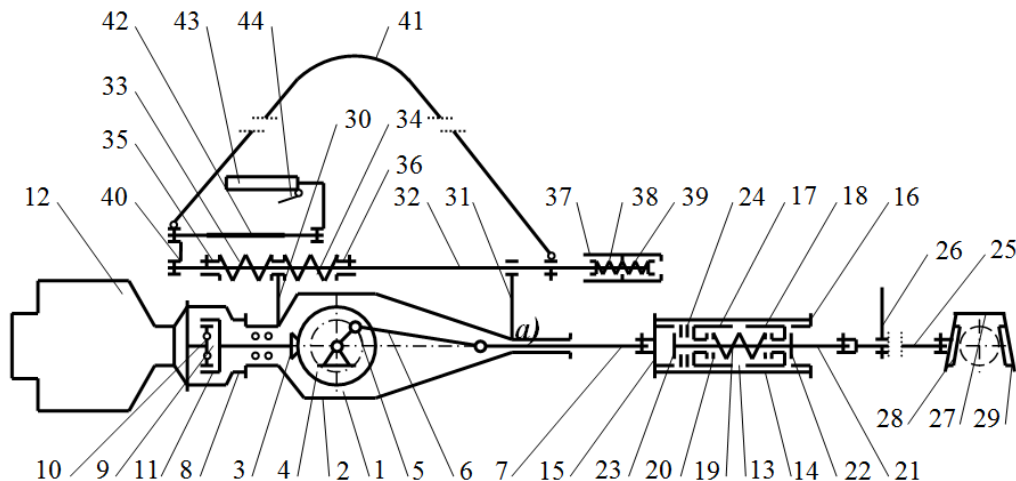


смонтированным в направляющей корпуса 2 возбудителя колебаний 1. К корпусу 2 прикреплен корпус 8 центробежной муфты 9 в виде ведущей 10 и ведомой 11 частей. Ведущая часть 10, которая выполнена как ступица с шарнирно установленными на ней грузиками, соединена с двигателем внутреннего сгорания 12, прикрепленным к корпусу 8 центробежной муфты 9. Ведомая часть 11 центробежной муфты 9 смонтирована на валу ведущей конической шестерни 3.

Стряхиватель оснащен ударным механизмом 13 с регулируемым ударным импульсом. Выполнен ударный механизм 13 в виде цилиндра 14 и прикрепленных к его торцам крышек-упоров 15 и 16. Одна крышка-упор 15 соединена с ползуном 7 возбудителя колебаний 1, а в цилиндре 14 установлены скользящие чашки 17 и 18, между которыми расположена пружина 19 и шайбы 20 регулирования ее предварительного натяжения. В скользящих чашках 17 и 18 установлен скользящий шток 21 с упорами 22, 23 и шайбами 24 регулирования зазора между этими чашками. К скользящему штоку 21 прикреплена штанга 25 с рычагом 26 ее поворота, и на

штанге 25 установлен вильчатый захват 27, оснащенный эластичными подушками 28 и 29. Расположены подушки 28 и 29 под определенным углом друг к другу, формируя клиновидный растр, в который входят ветви.

К корпусу 2 возбудителя колебаний 1 прикреплены кронштейны 30 и 31, в отверстиях которых смонтирована направляющая штанга 32 механизма удержания, маневрирования и управления стряхивателем. На направляющей штанге 32 установлены демпфирующие пружины 33, 34 и упоры 35, 36 регулирования предварительного натяжения этих пружин. На передней части направляющей штанги 32 установлена рукоятка 37 с демпферными пружинами 38 и 39, а на задней части направляющей штанги 32 смонтирован поперечный рычаг 40. Одним концом к рычагу 40 прикреплена удерживающая лямка 41, соединенная другим концом с направляющей штангой 32. К поперечному рычагу 40 также присоединена эластичная вставка 42, на которой закреплена рукоятка 43 с рычажком 44 управления системой подачи топлива двигателя внутреннего сгорания 12 стряхивателя.



a)



б)



в)

**Рис. 1.** Ручной виброударный стряхиватель плодов: а – схема; б – общий вид стряхивателя; в – общий вид ударного механизма

**Fig. 1.** Hand vibration and impact fruit shaker : а – scheme; б – shaker overview; в – overview of impact mechanism

Перед началом работы ручного виброударного стряхивателя плодов регулируется ударный импульс ударного механизма 13 соответственно виду, сорту и возрасту деревьев, плоды с которых подлежат уборке. Импульс регулируется изменением зазора между скользящими чашками 17 и 18, в частности, для уменьшения зазора устанавливаются дополнительные шайбы 24 между упором 23 и чашкой 17. Пропорционально увеличению числа шайб 24 уменьшается число шайб 20, обеспечивающих натяжение пружины 19 и постоянное прижатие скользящих чашек 17 и 18 к упорам 22 и 23 при включенном возбудителе колебаний 1. Для увеличения зазора между скользящими чашками 17 и 18 число шайб 24 уменьшается, и соответственно увеличивается число шайб 20.

Отрегулировав ударный импульс, работник-сборщик плодов, обслуживающий ручной виброударный стряхиватель, запускает двигатель внутреннего сгорания 12 стряхивателя и рычажком 44 устанавливает подачу топлива, при которой двигатель 12 развивает минимально устойчивые обороты. В данном случае вместе с коленчатым валом двигателя 12 вращается ведущая часть 10 центробежной муфты 9, смонтированной в корпусе 8. Центробежная сила, действующая на шарнирно установленные грузики ведущей части 10, недостаточна для прижатия указанных грузиков к ведомой части 11 муфты 9 и обеспечения привода возбудителя колебаний 1.

Работник-сборщик плодов, удерживая стряхиватель одной рукой за рукоятку 43, другой рукой набрасывает удерживающую лямку 41 на плечо и берет этой же рукой за рукоятку 37. Сила тяжести стряхивателя через кронштейны 30 и 31, прикрепленные к корпусу 2 возбудителя колебаний 1, направляющую штангу 32, поперечный рычаг 40 и лямку 41 передается на плечо работника-сборщика плодов. Также сила тяжести стряхивателя через направляющую штангу 32, поперечный рычаг 40, эластичную вставку 42 и рукоятки 37 и 43 передается на руки работника-сборщика. Эластичная вставка 42 прогибается, демпфируя нагрузки при маневрировании и работе стряхивателя.

Работник-сборщик плодов, удерживая стряхиватель, маневрирует им с помощью рукояток 37, 43 и вводит штангу 25 с захватом 27 в крону дерева. Выбрав место захвата плодоносной ветви, работник-сборщик перемещается возле дерева и останавливается, когда штанга 25 занимает перпендикулярное положение к продольной оси ветви в месте ее захвата. Поворачивая рычаг 26 вместе со штангой 25, вильчатый захват 27 накладывают на ветвь и прижимают к ней эластичными подушками 28 и 29, которые деформируются и благодаря их клиновому раствору плотно охватывают кору ветвей разных диаметров. При плотном контакте отсутствуют удары без предварительного формирования зоны контакта, отсутствует скольжение захвата и, соответственно, уменьшаются повреждения коры.

После захвата ветви работник-сборщик плодов нажимает на рычаг 44, увеличивается подача топлива и, соответственно, частота вращения двигателя 12. Возрастает центробежная сила, которая прижи-

мает шарнирно установленные грузики ведущей части 10 муфты 9 к ее ведомой части 11. Начинают вращаться ведущая 3 и ведомая 4 конические шестерни вместе с кривошипом 5. Через шатун 6 обеспечивается возвратно-поступательное, колебательное движение ползуна 7, вместе с которым движутся крышка-упор 15 цилиндр 14 и крышка-упор 16. Крышка-упор 15 через шайбы 24 передает гармонично изменяющуюся возбуждающую силу скользящей чашке 17, которая вместе с шайбами 24 отходит от упора 23, и, сжимая пружину 19, действует на скользящую чашку 18. Далее через упор 22, скользящий шток 21, штангу 25 и вильчатый захват 27 гармонично изменяемая возбуждающая сила передается плодоносной ветви, обеспечивая ее стряхивание с частотой, соответствующей частоте изменения возбуждающей силы. Такой вибрационный режим стряхивания ветви продолжается до тех пор, пока есть зазор между скользящими чашками 17 и 18. В момент, когда скользящая чашка 17 наносит удар по скользящей чашке 18 гармонично изменяемая возбуждающая сила дополняется силой удара, обеспечивая виброударные режим стряхивания плодоносной ветви.

С изменением направления колебательного движения ползуна 7 вместе с ним продолжают двигаться крышка-упор 15, цилиндр 14 и крышка-упор 16. Скользящая чашка 17 отжимается пружиной 19 и в определенный момент через шайбы 24 входит в контакт с упором 23. Крышка-упор 16 передает гармонично изменяемую возбуждающую силу скользящей чашке 18, которая отходит от упора 22 и, сжимая пружину 19, воздействует на скользящую чашку 17. В дальнейшем через шайбы 24, упор 23, скользящий шток 21, штангу 25 и вильчатый захват 27 гармонично изменяемая возбуждающая сила передается плодоносной ветви, стряхивая ее в вибрационном режиме. Когда скользящая чашка 18 наносит удар по скользящей чашке 17, гармонично изменяемая возбуждающая сила дополняется силой удара, опять же обеспечивая виброударный режим стряхивания плодоносной ветви.

Во время стряхивания также колеблются возбудитель колебаний 1 с двигателем 12, энергия колебательного процесса которых поглощается демпферными пружинами 33, 34 и 38, 39, уменьшая интенсивность колебаний на рукоятках 37, 43 и удерживающей лямке 41. Перемещением упоров 35 и 36 можно изменять предварительное натяжение демпферных пружин 33, 34 и обеспечивать, в соответствии с индивидуальными особенностями работника-сборщика плодов, допустимые параметры колебаний, что ему передаются.

В течение всего промежутка стряхивания гармонично изменяемая возбуждающая сила, соответствующая вибрационному режиму, дополняется силой последовательных ударов, обеспечивая виброударные режим стряхивания. Ударный импульс как закономерность изменения силы удара – это сумма гармонично изменяемых возбуждающих сил с широким спектром частот, то есть виброударный режим обеспечивает широкий спектр частот стряхивания ветвей в месте их захвата. Поскольку такой

спектр охватывает диапазон необходимых частот стряхивания разных ветвей, то и повышается полнота съема плодов, которые опадают на поверхность междурядий.

Работник-сборщик освобождает ветвь, плоды с которой сняты, обходит дерево и останавливается на месте, наиболее удобном для захвата следующей ветви, на которую накладывается вильчатый захват 27. Рабочий цикл съема плодов продолжается до снятия урожая со всего дерева, а в дальнейшем работник-сборщик переходит к следующему плодovому дереву.

Испытания модернизированного виброударного стряхивателя плодов проведены в семидесятилетних насаждениях грецкого ореха сортов Буковинский и Круглястый со схемой посадки 9×6 м. Плоды снимались на полотна, разостланные на поверхности междурядий, причем за час работы убирался урожай с 25–40 деревьев. Полнота съема плодов составляла 93–95%, а съем листьев не превышал 0,2%. В месте захвата ветвей не выявлено раздавливания, смятия и скалывания коры; отсутствовало обламывание ветвей высших порядков.

Модернизированный виброударной стряхиватель может оборудоваться ограничителем частотного режима стряхивания, выполненного в виде поворотного эксцентрика, ограничивающего перемещение рычажка управления системой подачи топлива двигателя внутреннего сгорания стряхивателя.

#### ВЫВОДЫ

Ручной виброударный стряхиватель плодов, созданный модернизацией итальянского ручного вибрационного стряхивателя SC 105, обеспечивает повышение полноты съема плодов благодаря тому, что спектр частот стряхивания ветвей в месте их захвата охватывает диапазон необходимых частот стряхивания. Кроме того, в результате плотного контакта эластичных подушек захвата с корой ветвей достигается уменьшение повреждений коры.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по использованию итальянского ручного стряхивателя SC 105.
2. Машиностроение. Энциклопедия. Ред. совет: К.В. Фролов и др. Т. IV-16. Сельскохозяйственные машины и оборудование /И.П. Ксеневич, Г.П. Варламов, Н.Н. Колчин и др. – М.: Машиностроение, 1998. – 45–53.
3. **Варламов Г.П. 1978.** Машины для уборки фруктов /Г.П. Варламов. – М.: Машиностроение. – 216.
4. **Шевчук Р.С. 2001.** Процессы и средства механизации съема плодов /Р.С. Шевчук. Дисс. ... докт. сельскохозяйственных наук: 05.20.01. – М. – 532.
5. **Шевчук Р.С. 2001.** Перспективы развития плодосъемных средств / Р.С. Шевчук // Сельскохозяйственные машины: Сб. научн. тр. Луцкого государственного технического университета, вып. 8. – Луцк. – 363–367. (Украина).
6. **Шевчук Р.С. 2002.** Эксплуатационные показатели средств для механизированного съема плодов /Р.С. Шевчук // Вестник Львовского государственного аграрного университета: Агроинженерные исследования. – №6. – 107–112. (Украина).
7. **Крупнич О.М. 2003.** Обоснование гидравлической схемы привода тросового стряхивателя плодов /О.М. Крупнич, Р.С. Шевчук, Я.В. Семен, Р.И. Паславский // Механизация сельскохозяйственного производства: Сб. научн. тр. Национального аграрного университета. Т. XII. – К. – 261–269. (Украина).
8. **Шевчук Р.С. 2003.** Виброударные стряхиватели плодов /Р.С. Шевчук, А.В. Дранный, В.И. Котысько // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – №7. – 37–39.
9. **Шевчук Р.С. 2005.** Гидравлический привод стряхивателей плодов с поочередным включением пневмогидравлических аккумуляторов /Р.С. Шевчук, И.Я. Пидстригач, Я.В. Семен, О.Ф. Пришляк // Техника АПК. – №10–11. – 36–37. (Украина).
10. **Шевчук Р.С. 2006.** Гидропривод стряхивателей плодов с поочередным включением аккумуляторов /Р.С. Шевчук, И.Я. Пидстригач, А.В. Дранный // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – №4. – 15–16.
11. **Миронюк О.С. 2008.** Обоснование функционально-структурной схемы виброударного стряхивателя / О.С. Миронюк, Р.И. Паславский, Р.С. Шевчук // Инженерия агропромышленного производства: Ученые факультета механики и энергетики – производству. – Вып. 2. – Львов. – 10–12. (Украина).
12. **Шевчук Р.С. 1998.** Теоретические исследования отделения плодов стряхиванием /Р.С. Шевчук // Сельскохозяйственные машины: Сб. научн. тр. Луцкого государственного технического университета, вып. 4. – Луцк. – 187–190. (Украина).
13. **Шевчук Р.С. 1998.** Элементы теории исследования виброударного съема плодов штамбовым стряхивателем / Р.С. Шевчук // Вестник Львовского государственного аграрного университета: Агроинженерные исследования (№2). – Львов. – 65–68. (Украина).
14. **Шевчук Р.С. 1999.** Взаимодействие тросового виброударного стряхивателя с деревом /Р.С. Шевчук // Сб. научн. тр. Всероссийского института механизации сельского хозяйства. – М. – 25–33.
15. **Шевчук Р.С. 1999.** Взаимодействие штамбового виброударного стряхивателя с деревом / Р.С. Шевчук // Сельскохозяйственные машины: Сб. научн. тр. Луцкого государственного технического университета, вып. 5. – Луцк. – 322–326. (Украина).
16. **Шевчук Р.С. 2004.** Модель пневмогидравлических аккумуляторов в приводах линейных виброударных стряхивателей плодов /Р.С. Шевчук // Техника АПК. – №10–11. – 34–35. (Украина).



17. Семен Я.В. 2006. Энергетическая эффективность применения пневмогидравлических аккумуляторов в гидроприводах плодуборочных машин / Я.В. Семен, О.М. Крупич, Р.С. Шевчук // *Motoryzacja i energetyka rolnictwa*. – Т. 8А. – Lublin, – 251–257.
18. Семен Я.В. 2002. Хозяйственные исследования процесса уборки яблок тросовым виброударным стряхивателем с аккумулятором энергии / Я.В. Семен, О.М. Крупич, Р.С. Шевчук // Труды Таврийской государственной агротехнической академии. – Вып. 7. – Мелитополь: ТДАТА. – 110–115. (Украина).
19. Патент 27351 Украина, МПК А01D 46/26. Ручное плодосъемное средство / Р.С. Шевчук; заявитель Львовский государственный аграрный университет. – №u200707098; заявл. 25.06.2007; опубл. 25.10.2007, Бюлл. №17. (Украина).
20. Шевчук Р.С., Крупич Р.О. 2011. Ручной виброударный стряхиватель плодов / Р.С. Шевчук, Р.О. Крупич // *Сельскохозяйственные машины*: Сб. научн. тр. – Вып. 21, том II. – Луцк: Ред.-изд. отдел Луцкого национального технического университета. – 238–243. (Украина).
21. Шевчук Р.С., Крупич Р.О. 2013. Ручной виброударный стряхиватель плодов / Р.С. Шевчук, Р.О. Крупич // Ученые Львовского национального аграрного университета – производству: Каталог инновационных разработок / Под общ. ред. В.В. Снитинского. – Вып. 13. – Львов: Львовский национальный аграрный университет. 53. (Украина).
22. Патент 95453 Украина, МПК А01D 46/26. Ручной виброударный стряхиватель плодов / Р.С. Шевчук, Р.О. Крупич; заявители Р.С. Шевчук, Р.О. Крупич. – №u201407346; заявл. 01.07.2014; опубл. 25.12.2014, Бюлл. №24. (Украина).

#### HAND VIBRATION AND IMPACT FRUIT SHAKER

**Summary.** The hand fruit shaker is created by modernization of hand vibration Shakers SC 105, which due to the frequency spectrum shaking coverage the branches in place of their capture and shaking frequency range required the increasing of output of the fruits taking down is provided. In addition, due to tight elastic contact of capture pads with the branches bark the damage of cortex is reduced. Upgraded hand shaker is hand vibration and impact linear inertial shakers of crown branches of fruit trees. Upgraded hand shaker is means of mechanical fruits taking down in gardens, not prepared to mechanized work and on the slopes, terraces and territories which is beyond the reach of tractors.

**Key words:** hand shaker, fruits, tree, top/crown, branch, output of the fruits taking, shaking frequency, vibration, capture, spectrum, range.



## ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА КОНВЕЙЕРОВ С РАСШИРЕННЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ

*Иван Гевко<sup>1</sup>, Олег Ляшук<sup>1</sup>, Андрей Дячун<sup>1</sup>, Андрей Довбуш<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя  
Ул. Русская 56, Тернополь, Украина, E-mail: oleg-lashyk@rambler.ru*

<sup>2</sup>*ННЦ «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства»,  
ул. Вокзальная, 11, Глеваха, Украина.*

*Ivan Gevko<sup>1</sup>, Oleh Lyashuk<sup>1</sup>, Andrii Djachun<sup>1</sup>, Andriy Dovbush<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Ternopil Ivan Puluj National Technical University,*

*Ruska str., 56, Ternopil, Ukraine. E-mail: oleg-lashyk@rambler.ru*

<sup>2</sup>*NSC Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture  
Vokzalna Str., 11, t. Glevaha, Ukraine*

**Аннотация.** Разработана модель выбора конструктивных конвейеров для транспортировки сельскохозяйственных материалов по криволинейным траекториям с учетом вероятных объемов расходов, возникающих вследствие повреждения материала, совокупных расходов, которые включают себестоимость изготовления, эксплуатации, технический осмотр и ремонт.

Проведен синтез рабочих органов конвейеров методом иерархических групп с помощью морфологического анализа. Обосновано, что выбор варианта конструкции рабочих органов в первую очередь зависит от характера исполнения процесса и нагрузки на рабочий орган. Поэтому, исходя из необходимости обеспечения проектирования рабочих органов можно ограничить количество вариантов конструктивных решений и сгенерировать значительное количество трудоспособных конструкций конвейеров для транспортировки сыпучих материалов по криволинейным трассам. Установлено, что потери от повреждения транспортировки материалов при их перегрузки бывают в десятки раз выше совокупную стоимость конвейера.

**Ключевые слова:** конвейер, эксплуатация, ремонт, себестоимость.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

На данное время проектирования и расчеты транспортно-технологических механизмов проводится за типичными схемами без учета особенностей и специфики производства, в частности сельскохозяйственного.

Современный стан развития транспортно-технологических механизмов непрерывного действия сельскохозяйственного назначения требует поиска новых путей улучшения технологических и эксплуатационных параметров рабочих органов, которые дают возможность повысить производительность и улучшить качество транспортных процессов с целью уменьшения травмирования семенных материалов.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Вопросом конструирования и синтеза механизмов с винтовыми рабочими органами посвящены работы П.Г. Василенко, А.А. Вайнсона, А.А. Омельченко, А.Г. Григорьева, П.А. Преображенского, Р.Л. Зенкова [7], Б.М. Гевка, Р.М. Рогатинского [13], Р.Б. Гевко [5]. Однако вопросу, который связан с особенностями экономического обоснования выбора конвейеров для транспортировки сыпучих грузов по криволинейным траекториям, не отводилось надлежащего внимания и оно нуждается в дальнейшем исследовании.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью статьи является разработка модели выбора конвейеров для транспортировки сыпучих грузов по криволинейным траекториям с выбором рациональных конструкций.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для обоснования выбора транспортеров для транспортировки сыпучих грузов по криволинейным траекториям проведем их сравнительный технико-экономический анализ. К таким транспортерам можно отнести трубчатые скребковые, пневматические, жесткие сборные (состоятся с двух и больше перегрузочных узлов) и гибкие винтовые конвейеры. Разрабатывая данную модель сначала определим стоимость этих конвейеров.

При структурному синтезу и проектировании транспортно-технологических механизмов (ТТМ), а также их оптимизации, необходимо сгенерировать множество компоновок ТТМ, которая бы максимально отвечала функциональному назначению механизма при минимальных затратах [10, 12]. При этом для выполнения многих функциональных операций с использованием ТТМ определяющей есть транспортирующая способность рабочего органа (РО), что определяется производительностью, дли-

ной и сложностью траектории транспортировки [7, 9, 13].

Для облегчения создания оригинальных схем компоновок канатных и винтовых механизмов, которые бы удовлетворяли выполнение функциональных операций, проведено кодирования функций пользуясь прописными буквами алфавита: «А» – продольная транспортировка; «Б» – смешивание; «В» – дозирование; «Г» – поштучное подавание; «Д» – калибрование; «Е» – строгание; «Ж» – измельчение. При использовании данной методики кодирования отдельным конструкциям будут закладываться выполнение нескольких операций, например: «БА» – смешивание и транспортировка, «АЕЖ» – транспортировка, прессование и измельчение. Далее проведем кодирование направления расположения элементов конструкции: горизонтальное – не кодируется; вертикальное – «а»; наклоненное – «б»; сменное – «в».

При этом используем следующую схему кодирования совокупностей конструктивных элементов (КЕ) с использованием символа «и» (где «и» меняется в пределах от 1 до 1000):

-  $1_n$  – поводы (электро-, пневмо-, вибро-, гидрорыводы разной стоимости, образа крепления, мощности и частоты обращения);

-  $2_n$  – передачи и редукторы (вариаторы, редукторы, зубчатые, ремни, цепи, фрикционные передачи с разным передаточным отношением, разной стоимости, качества, конструктивного выполнения);

-  $3_n$  – предупредительные и упругие муфты (разных конструкций, функциональных возможностей, цены);

-  $4_n$  – элементы управления (электропереключатели, кабеля, ПК, ЧПК, пульта, частотные преобразователи и т.п.);

-  $5_n$  – трубопровод (открытые-закрытые, гибкий-жесткий);

-  $6_n$  – элементы загрузки и разгрузки - (разных конструкций, типоразмеров, функциональных возможностей и цены);

-  $7_n$  – элементы соединительные и опорно-поворотные (разных конструкций);

-  $8_n$  – рабочие органы (разных конструкций, типоразмеров, функциональных возможностей);

Если в конструкции содержится несколько КЕ одного вида, то их количество записывается соответствующей степенью, например: 2 двигателя –  $(1_n)^2$ ; три рабочих органа –  $(8_n)^3$ . Это касается и элементов загрузки, пересыпа и разгрузки, если в конструкции их отдельных видов есть больше одного.

Следующим шагом выбора конвейеров есть генерация их рациональных компоновочных схем (табл. 1), исходя из нужды выполнения необходи-

мых функциональных операций. При этом следует учесть взаимосвязь конструктивных характеристик и соответствие выполнению функциональных операций.

Из каждой компоновочной схемы, представленных в табл. 1, может быть генерированное значительное количество соответствующих конструкций (ТТМ) на которые получены патенты Украины [15-20]. Общее количество компоновочных схем может быть увеличенной. При генерировании конструкций нужно учитывать, что себестоимость изготовления каждой созданной будет зависеть от типа производства, стоимости покупки или изготовления КЕ, (поводы, передачи и редукторы, предупредительные и упругие муфты, винтовые рабочие органы, трубопровод, элементы загрузки и разгрузки, элементы соединительные и поворотные, элементы управления), а также стоимости их составления.

Соответствие разных компоновок рабочих органов ТТМ 8 основным функциональным операциям приведенная в табл. 2, из которой видно, что комбинированные конвейеры с расширенными технологическими возможностями.

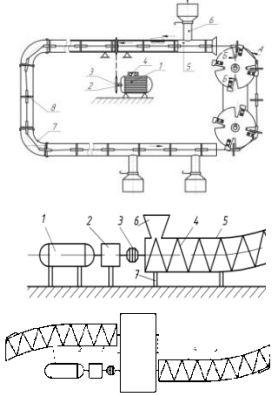


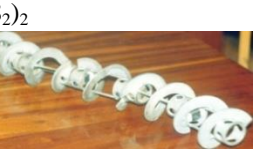
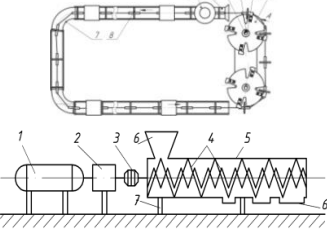


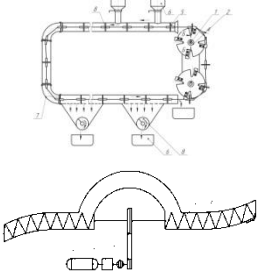
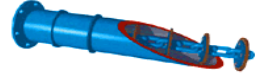

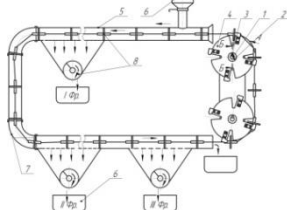


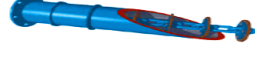
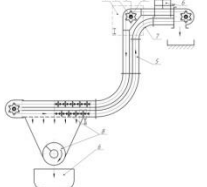


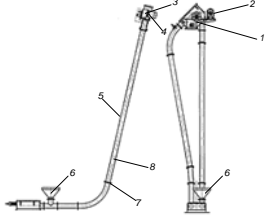



Итак, базовым в конструкции ТТМ есть РО, который есть сложнейшим и нуждается в изготовлении. В отдельных случаях конструктивные элементы (КЕ) являются стандартными или нескладными в изготовлении. Соответственно, если стоимость всей конструкции принять за 100%, то стоимость отдельных КЕ ориентировочно будет представлять:  $1_n$  – 5...25%;  $2_n$  – 0,5...15%;  $3_n$  – 0,5...10%;  $8_n$  – 1...45%,  $5_n$  – 2...30%;  $6_n$  – 0,5...5%;  $7_n$  – 5...40%;  $8_n$  – 20...50%.

При проектировании ТТМ в конструкции нужно первым закладывать КЕ  $8_n$ , дальше КЕ  $5_n$  и  $6_n$ , а следующими группу КЕ  $1_n$ ,  $2_n$ ,  $3_n$ ,  $4_n$  и КЕ  $7_n$ . При расчете конструкций конвейеров нужно учитывать, что их себестоимость будет зависеть от типа производства, стоимости покупки или изготовления отдельных конструктивных элементов, (поводов, редукторов, предупредительных или упругих муфт, передач, рабочих органов, желобов, элементов управления, разгрузку, соединительных и поворотных и т.п.), а также стоимости составления самых конвейеров.

Следующий этап выбора есть оценка показателей характеристик качества каждой конструкции из общей базы синтезированных, исходя из технических характеристик таблица 3.

**Таблица 1.** Рациональные компоновочные схемы для выполнения разных функциональных операций и их коды

**Table 1.** Rational component schemes for performing different functional operations and their codes

Код операции	Код ТТМ	Схема с кодами конструктивных элементов	Рабочий орган
1,3	АБ <sub>а</sub> (1 <sub>і</sub> ) <sup>2</sup> 2 <sub>і</sub> 3 <sub>і</sub> 4 <sub>і</sub> 5 <sub>і</sub> (6 <sub>і</sub> ) <sup>3</sup> 7 <sub>і</sub> 8 <sub>і</sub>		  
1,3,4,7	АБД <sub>а</sub> 1 <sub>і</sub> 2 <sub>і</sub> 3 <sub>і</sub> 4 <sub>і</sub> 5 <sub>і</sub> (6 <sub>і</sub> ) <sup>2</sup> 7 <sub>і</sub> 8 <sub>і</sub>		 
1,2,3,4,7	АВД <sub>а</sub> Е(1 <sub>і</sub> ) <sup>3</sup> 2 <sub>і</sub> 3 <sub>і</sub> (4 <sub>і</sub> ) <sup>3</sup> 5 <sub>і</sub> (6 <sub>і</sub> ) <sup>4</sup> 7 <sub>і</sub> 8 <sub>і</sub>		 
1,2,3,4,5,7	АБВД <sub>а</sub> Е(1 <sub>і</sub> ) <sup>4</sup> 2 <sub>і</sub> 3 <sub>і</sub> (4 <sub>і</sub> ) <sup>4</sup> 5 <sub>і</sub> (6 <sub>і</sub> ) <sup>5</sup> 7 <sub>і</sub> 8 <sub>і</sub>		  
1,3,6,7	АБД <sub>в</sub> (1 <sub>і</sub> ) <sup>2</sup> 2 <sub>і</sub> 3 <sub>і</sub> (4 <sub>і</sub> ) <sup>2</sup> 5 <sub>і</sub> (6 <sub>і</sub> ) <sup>2</sup> 7 <sub>і</sub> 8 <sub>і</sub>		 
1,4,5	АД <sub>в</sub> 1 <sub>і</sub> 2 <sub>і</sub> 3 <sub>і</sub> 4 <sub>і</sub> 6 <sub>і</sub> (7 <sub>і</sub> ) <sup>2</sup> 8 <sub>і</sub>		  

**Таблица 2.** Основные функциональные операции  
**Table 2.** Principle functional operations

Код операции	Функциональные операции	Рабочий материал	Основные оптимизационные параметры*
1	Продольная транспортировка	Сыпучий, вязко-пластический	$Q \rightarrow \max; C \rightarrow \min$
2	Смешивание	Сыпучий, вязко-пластический	$Q \rightarrow \max; K_0 \rightarrow \max; C \rightarrow \min$
3	Дозирование	Сыпучий, кусковой, вязко-пластический	$dq/dt \rightarrow \max; Q \rightarrow \max; C \rightarrow \min$
4	Поштучное подавание	Поштучный	$Q \rightarrow \max; dq/dt \rightarrow \max; C \rightarrow \min$
5	Калибрование	Сыпучий, поштучный	$Q \rightarrow \max; C \rightarrow \min$
6	Строгание	Поштучный	$Q \rightarrow \max; K_y \rightarrow \max; C \rightarrow \min$
7	Измельчение	Кусковой, поштучный	$Q \rightarrow \max; K_y \rightarrow \max; C \rightarrow \min$

**Таблица 3.** Оценка показателей характеристик качества ТТМ  
**Table 3.** Estimation of data of the TTM quality characteristics

Значение фактора ( $\Sigma 100$ )	Факторы качественных характеристик ТТМ
1..95	Производительность
50..95	Однородность смешивания
60..95	Точность дозирования
30..95	Потери (повреждение)
50..95	Принадлежности к фракции
40..95	Равномерность
1..95	Скорость прохождения процесса
1..95	Длина транспортировки
1..95	Траектория транспортировки
1..95	Мобильность изменения траектории транспортировки
1..30	Сложность монтажа-демонтажа
10..95	Безопасность при эксплуатации
10..60	Сложность (простота) загрузки-разгрузки
20..90	Срок пригодности
10..90	Надежность
15..50	Габаритные размеры
5..60	Материалоемкость
5..70	Энергоемкость

Определение себестоимости любого конвейера можно осуществлять за формулой:

$$C_B = k_{mp-c} \cdot \sum_{n=1}^m B_n + \sum_{r=1}^t C_r + \sum_{y=1}^o C_y + k_{допл} \cdot k_{доп} \cdot k_{нар} \cdot c_3 \cdot T_h \quad (1)$$

где:  $k_{mp-c}$  – коэффициент, который учитывает транспортно-заготовительные затраты,  $k_{mp-c} = 1,05 \dots 1,15$ ;  $B_n$  – стоимость стандартных КЕ, что закупаются (электродвигателей, редукторов, элементов управления и т.п.), грн.;  $C_r$  – себестоимость типичных КЕ, что изготавливаются из сортового металлопроката (желобов, элементов разгрузки, соединительных и опорно-поворотных элементов и т.п.), грн.;  $C_y$  – се-

бестоимость оригинальных КЕ (рабочих органов, специальных муфт и т.п.), грн.;  $m, t, об!$  соответственно количество стандартных, типичных и оригинальных КЕ, шт.;  $k_{допл}$  – коэффициент доплат,  $k_{допл} = 1,25 \dots 1,3$ ;  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы основных рабочих,  $k_{доп} = 1,03 \dots 1,1$ ;  $k_{нар}$  – коэффициент, который учитывает отчисление на социальное страхование,  $k_{нар} = 1,38 \dots 1,39$ ;  $c_3$  – средневзвешенная почасовая тарифная ставка основных рабочих, которые заняты составлением конвейера, грн.;  $T_h$  – трудоемкость составления и наладивание конвейера, нормогод.

Как правило, стандартные КЕ закупаются на рынке или напрямую у заводов-изготовителей (электродвигатели, редукторы, элементы управле-

ния, силовые кабели и т.п.). Расчеты производственной себестоимости типичных КЕ напрямую связанный с материальными затратами на них изготовление и укрупнено определяется по формуле:

$$C_r = k_{сер} \cdot k_{ев} \cdot k_{мп-3} \cdot m_m \cdot \Pi_m - m_e \cdot \Pi_e, \quad (2)$$

где:  $k_{сер}$  – коэффициент серийности, которая учитывает объемы изготовления КЕ, для единичного производства:  $k_{сер\ om} = 1,25 \dots 1,5$ , для серийного производства:  $k_{сер\ с} = 1,01 \dots 1,25$ , для массового производства:  $k_{сер\ m} = 1$ ;  $k_{ев}$  – коэффициент, который учитывает отношение затрат при изготовлении КЕ: производственная себестоимость / затраты на материалы,  $k_{ев} = 1,35 \dots 2$ ;  $m_m$  – масса сортового металлопроката, который используется для изготовления КЕ, кг;  $\Pi_m$  – усредненная цена сортового металлопроката, грн.;  $m_e$  – масса отходов из металлопроката, кг;  $\Pi_e$  – усредненная цена отходов из металлопроката, грн.

При расчетов производственной себестоимости оригинальных КЕ нужно учитывать затраты на основные и вспомогательные материалы, основную и вспомогательную заработную плату и начисление на них, а также энергию для технологических целей и общепроизводственные затраты. Расчеты их производственной себестоимости направления связан с типом производства, технологией изготовления и материальными затратами на них изготовление, и может быть проведенный за формулой:

$$C_y = k_{скл} \cdot k_{скл} \cdot ((k_{мп-3} \cdot k_{ам} \times \times (\sum_{z=1}^l n_z \cdot \Pi_z + \sum_{j=1}^q m_j \cdot \Pi_j - \sum_{j=1}^q m_{ej} \cdot \Pi_{ej})) + (k_{донл} \cdot k_{доо} \cdot k_{нар} + k_{3в}) \cdot (c_1 \cdot \sum_{с=1}^w T_c + c_2 \cdot T_r) + k_{вен} \cdot \sum_{j=1}^q m_j \cdot \Pi_j) \quad (3)$$

где:  $k_{скл}$  – коэффициент, который учитывает конструктивную сложность изготовления КЕ,  $k_{скл} = 1 \dots 1,5$ ;  $k_{ам}$  – коэффициент, который учитывает затраты на дополнительные материалы,  $k_{ам} = 1,01 \dots 1,05$ ;  $l$  – количество видов комплектующих, которые используются для изготовления КЕ;  $n_z$  – количество комплектующих z-го вида, которые используются для изготовления КЕ;  $\Pi_z$  – цена комплектующей z-го вида, грн.;  $q$  – количество материалов, которые используются для изготовления КЕ;  $m_j$  – масса материала j-го вида, который используется для изготовления КЕ, кг;  $\Pi_j$  – цена материала j-го вида, который используется для изготовления КЕ, грн.;  $m_{ej}$  – масса отходов материала j-го вида, кг;  $\Pi_{ej}$  – цена отходов материала j-го вида, грн.;  $k_{3в}$  – коэффициент, который учитывает общепроизводственные затраты при изготовлении КЕ,  $k_{3в} = 1,4 \dots 1,8$ ;  $c_1, c_2$  – средневзвешенная почасовая тарифная ставка основных рабочих, которые, соответственно, заняты изготовлением деталей для КЕ и его составлением, грн.;  $w$  – количество видов деталей, которые изготавливаются для КЕ;  $T_c$  – трудоемкость механической

обработки e-го вида деталей КЕ, норма/ч.;  $T_r$  – трудоемкость составления и налаживание КЕ, норма/ч.;  $k_{вен}$  – коэффициент, который учитывает затраты на энергию для технологических целей при изготовлении КЕ,  $k_{вен} = 1,05 \dots 1,2$ .

Частичные решения при определении себестоимости отдельных видов конвейеров являются следующими (в приведенных формулах стоимость предупредительных или упругих муфт являются стандартными, но нужно учитывать, что они могут быть также и типичными или оригинальными КЕ).

Определение себестоимости трубчатого скребкового конвейера (ТСК) можно проводить за формулой:

$$C_{ТСК} = k_{мп-3} \cdot (B_{нТСК1} + B_{нТСК2} + B_{нТСК3} + B_{нТСК4}) + C_{rТСК5} + C_{rТСК6} + C_{rТСК7} + i_{ТСК} \cdot C_{yТСК8} + C_{yТСК9} + k_{допл} \cdot k_{доо} \cdot k_{нар} \cdot c_3 \cdot T_h, \quad (4)$$

где:  $B_{нТСК1}$  – стоимость повода (электродвигателя), грн.;  $B_{нТСК2}$  – стоимость редуктора, грн.;  $B_{нТСК3}$  – стоимость предупредительной (упругой) муфты, грн.;  $B_{нТСК4}$  – стоимость элементов управления, грн.;  $C_{rТСК5}$  – себестоимость желоба, грн.;  $C_{rТСК6}$  – себестоимость элементов разгрузки, грн.;  $C_{rТСК7}$  – себестоимость соединительных и опорно-поворотных элементов, грн.;  $i_{ТСК}$  – количество передач (специальных звездочек с креплением), шт.;  $C_{yТСК8}$  – себестоимость передач, грн.;  $C_{yТСК9}$  – себестоимость рабочего органа ТСК, грн.

Определение себестоимости гибкого винтового конвейера (ГГК) можно проводить за формулой:

$$C_{ГГК} = k_{мп-3} \cdot (B_{нГГК1} + B_{нГГК2} + B_{нГГК3} + B_{нГГК4} + B_{нГГК5}) + C_{rГГК6} + C_{rГГК7} + C_{yГГК8} + k_{допл} \cdot k_{доо} \cdot k_{нар} \cdot c_3 \cdot T_h, \quad (5)$$

где:  $B_{нГГК1}$  – стоимость повода (электродвигателя), грн.;  $B_{нГГК2}$  – стоимость передачи или редуктора, грн.;  $B_{нГГК3}$  – стоимость предупредительной (упруго-предупредительной) муфты, грн.;  $B_{нГГК4}$  – стоимость элементов управления, грн.;  $B_{нГГК5}$  – стоимость гибкого трубопровода, грн.;  $C_{rГГК6}$  – себестоимость элементов загрузки, пересыпа и разгрузку, грн.;  $C_{rГГК7}$  – себестоимость соединительных и опорно-поворотных элементов, грн.;  $C_{yГГК8}$  – себестоимость гибкого винтового рабочего органа ГГК, грн.

Определение себестоимости жесткого сложного винтового конвейера (ГК) можно проводить за формулой:

$$C_{ГК} = k_{мп-3} \cdot (B_{нГ1} + B_{нГ2} + B_{нГ3} + B_{нГ4}) + i_{ГК} \cdot C_{rГ5} + C_{rГ6} + C_{rГ7} + i_{ГК} \cdot C_{yГ8} + k_{допл} \cdot k_{доо} \cdot k_{нар} \cdot c_3 \cdot T_h, \quad (6)$$

где:  $B_{нГ1}$  – стоимость повода (электродвигателя), грн.;  $B_{нГ2}$  – стоимость передачи или редуктора, грн.;  $B_{нГ3}$  – стоимость предупредительной (упругой) муфты, грн.;  $B_{нГ4}$  – стоимость элементов управления, грн.;  $i_{ГК}$  – количество желобов (шнеков), шт.;  $C_{гГ6}$  – себестоимость желоба, грн.;  $C_{гГ6}$  – себестоимость элементов загрузки, пересыпа и разгрузку, грн.;  $C_{гГ7}$  – себестоимость соединительных и опорно-поворотных элементов, грн.;  $C_{гГ8}$  – себестоимость жесткого шнека ГК, грн.

Определение себестоимости гибкого пневматического конвейера (ПК) можно проводить за формулой:

$$C_{ПК} = k_{мп-3} \cdot (B_{нП1} + B_{нП2} + B_{нП3}) + C_{гП4} + C_{гП5} + C_{гП6} + C_{гП7} + k_{допл} \cdot k_{дод} \cdot k_{нар} \cdot c_3 \cdot T_h \quad (7)$$

где:  $B_{нП1}$  – стоимость компрессора ( турбомашин, вакуум-насоса), грн.;  $B_{нП2}$  – стоимость гибкого трубопровода, грн.;  $B_{нП3}$  – стоимость элементов управления, грн.;  $C_{гП4}$  – себестоимость соединительных и опорно-поворотных элементов, грн.;  $C_{гП5}$  – себестоимость жесткого трубопровода, грн.;  $C_{гП6}$  – себестоимость элементов загрузки ( вкачивательного накопника, питателя, шлюзового затвору и т.п.), грн.;  $C_{гП7}$  – себестоимость элементов пересыпа, грн.

Эксплуатационные затраты при использовании трубчатых скребковых, пневматических и гибких и жестких сложных винтовых конвейеров за весь срок будут состоять из 4-х видов затрат: энергетических; на основную и вспомогательную заработную плату операторов и начисление на них; связанных с повреждением части продукции во время выполнения технологических процессов; на монтаж-демонтаж. Все указанные виды эксплуатационных затрат для объективности расчетов (учитывая фактор изменения стоимости денег во времени) целесообразно свести за весь период к 1-го года. Эксплуатационные затраты укрупнено определяются по формуле [1]:

$$C_E = \sum_{t=1}^x (k_{вик} \cdot k_{зм} \cdot k_{пот} \cdot P_{вст} \cdot C_{ен} \cdot \Phi_{эфо} + k_{вик} \cdot k_{зм} \cdot c_4 \cdot N_{он} \cdot k_{допл} \cdot k_{дод} \cdot k_{нар} \cdot \Phi_{эфр} + k_{вик} \cdot k_{зм} \cdot P_{пошк} \cdot m_{вант} \cdot C_{ен} \cdot \Phi_{эфо} + N_{скл} \cdot c_5 \cdot k_{допл} \cdot k_{дод} \cdot k_{нар} \times (N_M \cdot T_b + N_D \cdot T_d)) / (1+u)^t \quad (8)$$

где:  $t$  – номер года использования;  $x$  – срок эксплуатации конвейера, года;  $k_{вик}$  – коэффициент использования за изменение в течение года;  $k_{зм}$  – количество изменений использования,  $k_{зм}$ : 1, 2, 3;  $k_{пот}$  – коэффициент использования поводов по мощности,  $k_{пот} =$

0,65...0,95;  $P_{вст}$  – суммарная мощность энергооборудования, кВт;  $C_{ен}$  – цена единицы энергетических ресурсов, грн./кВт.;  $\Phi_{эфо}$  – эффективный фонд времени работы на плановый период на протяжении изменения, ч. ( $\Phi_{эфо} = 1970$  ч.);  $c_4$  – средневзвешенная почасовая тарифная ставка операторов, которые заняты в производственном процессе с использованием конвейеров, грн.;  $N_{он}$  – количество операторов, чел.;  $\Phi_{эфр}$  – эффективный фонд рабочего времени одного оператора, ч. ( $\Phi_{эфр} = 1860$  ч.);  $P_{пошк}$  – вероятность повреждения части продукции во время выполнения транспортно-технологических процессов;  $m_{вант}$  – масса перегруженного груза на протяжении одной часы, кг;  $C_{ен}$  – стоимость груза, грн./кг;  $N_{скл}$  – количество работников, которые заняты в процессе монтажа-демонтажа, чел.;  $c_5$  – средневзвешенная почасовая тарифная ставка работников, которые заняты процессом монтажа-демонтажа, грн.;  $N_M, N_D$  – соответственно количество монтажей и демонтажей в течение года;  $T_b, T_d$  – соответственно трудоемкость одного монтажа и демонтажа, норма/год.;  $u$  – пруда учитывания,  $u = 0,2...0,4$ .

Затраты на технический обзор и ремонт конвейеров за весь срок эксплуатации укрупнено определяются по формуле [1]:

$$C_{ТО} = \sum_{t=1}^x (C_B \cdot k_{nc} \cdot k_{нод} \cdot k_{нр}) / (1+u)^t \quad (9)$$

где:  $k_{nc}$  – коэффициент перевода производственной себестоимости в полную (учитывает величину административных и внепроизводственных затрат),  $k_{nc} = 1,1...1,7$ ;  $k_{нод}$  – коэффициент, который учитывает величину налога на добавленную стоимость;  $k_{нр}$  – коэффициент годового отчисления на ТО и ремонт,  $k_{нр} = 1,05...1,2$ .

Теперь обоснуем объемы потерь, вызванных повреждением ценных продуктов при перегрузке. Для примера рассмотрим семенной зерновой материал. Так при транспортировке семян жесткими винтовыми конвейерами происходит повреждение (травмировании) в пределах 1,2...1,75% [2, 8]. При использовании пневматических и гибких винтовых конвейеров для перегрузки семян его повреждения происходит в пределах 1,4...4% (табл. 1). Меньше всего травмирование семенного материала происходит при него перегрузке по криволинейным траекториям трубчатыми скребковыми конвейерами - 0,37...0,5% (табл. 4) [4, 11, 14]. При расчетах мы пренебрегаем дальнейшими потерями, которые будут вызваны недополучением урожая, который связано с внесением в грунт поврежденного семян [8]. Результаты укрупненных расчетов потерь семян при транспортировке, которые связаны с травмированием, с учетом их усредненной цены (на 01.01.2014 г.: пшеница – 1980 грн./т; соя – 4050 грн./т; кукуруза – 1440 грн./т) представлено в табл. 4.



**Таблица 4.** Потери семян при транспортировке по криволинейным траекториям разными видами конвейеров

**Table 4.** Seeds losses while transporting along the curvilinear trajectories of different type conveyers

Тип конвейера	Производительность конвейера, т/ч.			Повреждение семян при транспортировке, %			Потери семян связаны с него повреждением, грн.					
	пшеница	кукуруза	soя	пшеница	кукуруза	soя	часовые			годовые (одно изменение)		
							пшеница	кукуруза	soя	пшеница	кукуруза	soя
Трубчатый скребковый	3,97	4,2	5,2	0,37	0,41	0,5	29,08	24,80	105,3	57296	48850	207441
Гибкий винтовой	6,1	8,05	12,9	1,96	1,41	2,18	236,73	163,45	1138,9	466356	321991	2243714
Жесткий винтовой	7,4	8,73	13,4	1,53	1,2	1,75	224,18	150,85	949,73	441625	297183	1870958
Гибкий пневматический	5,31	5,69	6,2	2,02	1,2	4,03	212,38	98,32	1011,9	418386	193697	1993508

**Таблица 5.** Затраты при применении конвейеров для транспортировки по криволинейным траекториям семян

**Table 5.** Expenditures while using conveyers for seeds transporting along curvilinear trajectories

Тип конвейера	Затраты, грн.					Затраты с учетом повреждения, грн.					
	цена	эксплуатационные		на ТО и ремонт		часовые			годовые (одно изменение)		
		год.	годовые	год.	годовые	пшеница	кукуруза	soя	пшеница	кукуруза	soя
Трубчатый скребковый	10170	2,51	4941,9	0,77	1526	33,11	28,82	109,33	65229	56783	215374
Гибкий винтовой	7100	4,51	8874,9	0,54	1065	242,5	169,21	1144,71	477716	333351	2255074
Жесткий винтовой	9800	2,49	4900,5	0,75	1470	228,4	155,08	953,96	449956	305514	1879289
Гибкий пневматический	15000	8,11	15977,3	1,14	2250	223,15	109,1	1022,71	439613,3	214924,3	2014735,3

Укрупненные совокупные затраты (себестоимость изготовления, эксплуатации, технического осмотра и ремонта) при применении конвейеров для транспортировки по криволинейным траекториям семена представлено в табл. 5. При этом расчеты годовых совокупных затрат проводился с учетом того, что срок эксплуатации всех конвейеров составляет 5 лет и в расчетах принималась пятая часть начальной стоимости конвейеров.

Как видно из таблиц 4 и 5, потери семян при транспортировке, связанные с него повреждением, в несколько раз (от 2 до 45) являются высшими, чем совокупная стоимость (покупательная цена, стоимость эксплуатации, технический обзор и ремонта за весь срок функционирования) транспортеров.

Конечный выбор конвейера для транспортировки сыпучих грузов по криволинейным траекториям из имеющихся альтернатив можно осуществлять за формулой:

$$A = C_B + C_E + C_{TO} + \sum_{i=1}^x (B_M \cdot k_{im}) / (1 + u)^t, \quad (10)$$

где:  $B_M$  – вероятный годовой объем потерь, которые возникают вследствие повреждения транспортированного материала;  $k_{im}$  – коэффициент, который учитывает объем транспортируемых материалов, в которых возникают потери в общем объеме в течение года,  $k_{im} = 0 \dots 1$ .

#### ВЫВОДЫ

1. Установлено, что потери от повреждения транспортировки материалов при них перегрузка бывают в десятки раз высшими за совокупную стоимость конвейера.

2. Разработанная модель выбора рациональных конструкций конвейера для транспортировки сыпучих сельскохозяйственных материалов по криволинейным трасам с учетом суммарных потерь.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Гевко И.Б., Оксентюк А.О., Галушак М.П. 2008.** Организация производства: теория и практика: учебник. – К.: Кондор. – 178 с. (Украина)
2. **Гевко И.Б. Гевко Б.М. 2010.** Управление процессом разработки и освоения производства новых изделий: учебник – Тернополь: ТДГУ имени Ивана Пулюя. – 199 с. (Украина)
3. **Гевко И.Б. 2013.** Научно-прикладные основы создания винтовых транспортно-технологических механизмов: Автореф. дис. на получение наук. степени доктора техн. наук: спец. 05.02.02 «Машиноведение» / И.Б. Гевко. – Львов. – 42. (Украина).
4. **Гевко И., Ляшук А., Тарасюк Ю. 2014.** Обоснование экономической эффективности использования конвейеров при транспортировке семенного материала по криволинейным траекториям Висник ТНТУ – Тернополь: ТНТУ, – Том 74. – № 2. – 137-143. (Украина).
5. **Gevko R.B. 2011.** Obgruntuvannya parametriv konstruktsiyi robochogo organu shaybovogo transporterа. Visnik Kharkivskogo natsionalnogo tehničnogo universitetu Imeni Petra Vasilenka. – Vipusk 114. – 241-246.
6. **Gevko I.B., Lyashuk O.L., Rogatinska L.R., Zolotuy R.Z., Lyubachivskyy R.O. 2013.** Investigation of the radius of bending for flexible screw sectional conveyer. International symposium: ISB-INMA TEN'2013. «Agricultural and Mechanical Engineering» 175-182, Bucharest. ISIN 2344-4118.
7. **Zenkov R.L. 1980.** Mashiny nepreryvnogo transporta. – М.: Mashinostroenie, – 367.
8. **Кроп Л.И. 1974.** Обработка и хранение семенного зерна. – Москва: «Колос», – 176.
9. **Loveykin V.S. 2011.** Bagatomasova model dinamiki ruhu kormozmishuvacha gvintovogo tipu zi zminnim oporom // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol. 13B. 124-129.
10. **Ляшук А.Л., Бадищук В.И., Олексишин А.А. 2013.** Синтез транспортно-технологических систем с гибким канатным и цепным рабочим органам [Текст] // Сборник научных статей. Луцкий национальный технический университет Выпуск 21 том 1 «Сельскохозяйственные машины» Луцк. – 251-261. (Украина).
11. **Oleg Lyashuk Andriy Dyachun, Roman Zolotuy, Olexandr Oleksyshyn, Yroslav Zamora, Zdenko Tkáč. 2013.** Results of Experimental Research of Granular Materials Transportation by Tubular Scraper Conveyors. In acta technologica agriculturae, no. 4, p.101-105, Nitra, Slovak Republic. ISBN 1335-2555.
12. **Ляшук А.Л., Любачивский Р.А., Кучвара И.М. 2013.** Структурный синтез винтовых рабочих органов механизмов машин. [Текст] / А.Л. Ляшук, // Вестник машиностроения Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт»: серия «Машиностроение». – № 68. – 25-31. (Украина).
13. **Рогатинский Р., Гевко И. 2012.** Модель конструирования и выбора винтовых конвейеров с расширенными технологическими возможностями Вестник ТНТУ. – № 3 (67). – 197-210. (Украина).
14. **Sirotyuk V.M. 2011.** Eksperimentalne doslidzhennya rezhimiv roboty energooschadnogo vibratsiynogo dozatora sipuchih kormiv // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol. 13D. 62-67.
15. Пат. №54102 Украина, МПК В65G 33/00. Гибкий канатный конвейер. Заявители: Ляшук А.Л., Гевко Б.М., Стефанов В. М., Олексишин О. В., Комар Р. В., Гевко И. Б., Дячун А. Е. патенто обладатель Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя - № u201005330; заявл. 30.04.2010; опубл. 25.10.2010, Бюл. №20.
16. Пат. №65918, Украина, МПК (2011.01) В65G 35/00. Рабочий орган гибкого канатного конвейера. Заявители: Ляшук А.Л., Дыня В.И. ; Олексишин А.В. ; Гевко И.Б. ; Землекоп А.В. ; патентообладатель Ляшук А.Л. ; Дыня В.И. ; Олексишин А.В. ; Гевко И.Б. ; Землекоп А.В. - № u201101683; заявл. 14.02.2011, опубл. 26.12.2011. Бюл. № 24.
17. Пат. №85011, Украина, МПК (2006.01): В65G 35/14. Секционная винтовая спираль / Ляшук А.Л. ; Любачивский Р. В. ; Дзюра В.А. ; Клендий В.М. ; Гевко Иг. Б. ; заявитель и патентообладатель Ляшук А.Л. ; Любачивский Р. В.; Дзюра В.А.; Клендий В.М.; Гевко Иг. Б.; - № u201304973; заявл. 18.04.2013., Опубл. 11.11.2013. Бюл. №21.
18. Пат. №85233, Украина, МПК (2013.01): В65G 35/00. Бочкообразный рабочий орган трубчатого канатного конвейера / Ляшук А. Л.; Комар Р.В.; Олексишин А.В.; Лотоцкий Р. И.; заявитель и патентообладатель Ляшук А. Л.; Комар Р.В.; Олексишин А.В.; Лотоцкий Р.И.; - № u201306971; заявл. 03.06.2013., Опубл. 11.11.2013. Бюл. №21.
19. Пат. №94205, Украина, МПК (2014.01): В65G 33/00. Гибкий трубчатый смеситель с вертикальной подачей сыпучих материалов / Ляшук А.Л.; заявитель и патентообладатель Ляшук А.Л.; - № u201402119; заявл. 03.03.2014., Опубл. 10.11.2014. Бюл. №21.
20. Пат. №94206, Украина, МПК (2014.01): В65G 33/00. А01F 12/44 (2006.01) Гибкий канатный сепаратор / Ляшук А.Л.; заявитель и патентообладатель Ляшук А.Л.; - № u201402121; заявл. 03.03.2014., Опубл. 10.11.2014. Бюл. №21.

INTERPRETATION OF THE CHOICE OF  
CONVEYERS WITH IMPROVED  
TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS

**Summary.** The model of choosing construction conveyers for transporting agricultural cargo along the curvilinear trajectory taking into account possible expenditures caused by the damage of cargo and total expenditures, which include manufacturing, operation. Maintenance and repair cost price has been developed.

The synthesis of conveyer operating members taking advantage of the hierarchic groups method and using morphological analyses has been carried out. It was interpreted, that the choice of option of the operating

members desing depends first of all on the nature of the performed process and loading on the operating member. That is why for the purpose to proside the desing of the operation members, the number of construction solution options can be reduced and one may develop a great number of conveyer designs capable to operate officiently for the transporting of bulk cargo along the curvilinear trajectory.

It was revealed, that damage losses while transporting and transferring are in ten times greater than those of the conveyer total cost.

**Key words:** conveyer, operation, maintenance, cost price.



## DEVELOPMENT AND RESEARCH OF INFORMATION MODEL OF INK COMBINATION PROCESS IN MULTI-INK ROTARY WEB PRESSES

**Oleksiy Shevchuk**

*Ukrainian Academy of Printing,  
Str. Pidgolosko, 19, Lviv, Ukraine. E-mail: uad\_wiz@ukr.net*

**Алексей Шевчук**

*Украинская академия печати  
Ул. Підголосо, 19, Львов, Україна. E-mail: uad\_wiz@ukr.net*

**Summary.** The article reviews the task of design of information model of the ink combination process in multi-ink rotary web presses, which is caused by the change of elongation and growth of the tape speed in the area. The analysis and research of the system of automatic control of ink combination has been done. The research of parameters of the systems of tape tension PPM in the environment MATLAB has been carried out. Methods of technological process combination performed on the tape, and synthesis of relevant models have been reviewed. The information models of automatic control of ink combination have been developed. The results of computer simulation have been presented.

**Key words:** rotary web press, information model, movable tape material, combination of operations, computer simulation.

### SET OF PROBLEM

During the movement of the tape material through the section of a rotary web printing press other technological operations are performed as well (folding (bending), die-cutting, punching, trimming, etc.). In the process of these technological operations there take place some actions to the tape, causing its deformation. In the area of contact with the leading and printing cylinders there is slippage and deformation of the tape. During technological operations the tape is under the variable influence of moisture and temperature (ink applying, moistening, drying), causing significant deformation (elongation or shrinkage) of thin tape materials such as paper, cellophane, etc. [1].

Tape-driven cylinders and working units of presses (plates and printing cylinders, rotary blades, drills) may have uncoordinated movement because of deviation of cylinder diameter from the nominal size and because of the backlash, elastic vibrations, weariness of kinematic pairs, etc. [2, 3]. This non-coordination can cause increasing the technological operations shift in the case of independent mechanisms individual drive. A significant non-coordination of movement of the tape and working units occurs at transient operating conditions (start, stop, speed change) [3]. As a result, we violate the correspondence between cyclical working units and cycles of supplying the printed tape to these units. For the combination of technological operations performed on the tape, we

need not only full equality of speeds (synchronicity of movements) of the tape and working units, but syn-phases of their movement. In this regard, we have the problem of management combining various technological operations performed at tape processing. This problem is called the support of the register [3, 4]. Under the register we understand a certain position relative to working cylinders in each particular time.

To control rotary web presses we use the systems of automated electric drive, systems of automated adjustment of tape tension when it is unwound and wound into the roll, system of automated ink combination and others.[3, 5-10]. The increased requirements to the quality of the printed matter demand the design of new highly efficient systems of automatic ink combination and optimal adjustment of the existing ones.

### ANALYSIS OF RECENT RESEARCH AND PUBLICATION

The article [11] presents the method of calculation of technological operation sequence for the criterion of minimizing of its duration. The sequence of actions and their impact on the duration of the technological cycle have been analyzed. The application of this method of calculation for technological operations of ink shift is inefficient. The article [12] presents information technologies for construction of sub-models of six-pole components for informational simulation of multi-mass mechanical systems. The developed sub-models of components of mechanical systems simplify the computer simulation of mechanical systems, and allow to model complex mechanical systems of web and sheet multicolor printing presses. The process of ink combination has not been researched in this paper.

Models of ink shift are based on the model of deformation of movable tape section and under certain assumptions [1, 3, 4, 13] that is why the process of ink shift is described inadequately which prevents the synthesis of ink combination system. From the above we have the problem of design and analyses of appropriate models of ink combinations in multi-ink rotary web printing presses.

The aim of the article is to design the information model of the ink combination process in multi-ink rotary web printing presses, at the action of major disturbances— elongation of the tape and the growth of the tape speed in the area.

PRESENTATION OF MAIN MATERIAL

The task of management is to achieve synchronous syn-phase tape movement and working units of the press (printing machine, folding unit, rotary knife). The position of the image of a new print, bend or cut with acceptable accuracy, must comply to the position with previously printed image on the tape. Necessary precision of ink combination is 0.05 ... 0.15 mm or less, and precision of tape cutting on a piece of sheet is 0.5 mm [14].

We should note that the length of tape from one technological operation to the other can reach 15–20 m, and the speed of the tape in modern printing presses is 8–12 m/sec. Significant impact on the accuracy of technological operations is made by a cyclic change in tape tension at rolls unwinding of irregular shape. Therefore, there may be a shift of technological operations and its rapid accumulation, leading to deterioration in the quality of printed products. In printing presses that have low speed, the control and regulation of ink shift can be done by a printer visually, you can also have selective visual control and precision control depending entirely on the individual capabilities of the printer. It is important to monitor the inks shift when printing from roll to roll (packaging products, manufacturing of labels, etc.). Visual quality control is possible only with the presses at low speed.

Let us consider multi-ink PPM, the scheme of which is shown in Fig.1. Elastic paper tape moves and is gradually printed in printing sections. Control marks are printed at the end of prints in each printing unit. At steady regime at constant speed  $V$  and constant tension on the tape  $F_i$  we print marks with consecutive numbers  $1, 2, \dots, i$  with intervals (length of the print)  $L_0 = Vdt$ . These control marks applied on different printing sections will be the same.

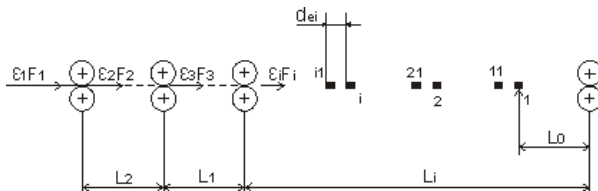


Fig. 1. Scheme of printing of control marks in multi-ink PPM

Let us assume that at a certain time there was an additional elastic deformation of the tape. For example, increasing the tape tension before  $(i-1)$  by the printing unit there is further deformation of the tape that will lead to a shift of marks as to their previous position. Then the change of the tape relative elongation is [14]:

$$\Delta \varepsilon(t) = \frac{dx_i}{L_0} = \frac{dx_i}{Vdt_i} \quad (1)$$

where:  $dx_i(t)$  – is an elementary shift of the tape.

Dividing the variables and integrating the equation (1), we obtain the dependence of the mark shift on the change of the tape deformation:

$$x_i(t) = V \int \Delta \varepsilon_i(t) dt. \quad (2)$$

Thus, we get the dependence of control mark shift on changing the tape deformation in the area.

Let us consider the shift of control marks printed on the tape on  $i$ -th and  $(i-1)$ -th printing units when changing the tape elongation at the input  $(i-1)$ -th printing unit. The expression of relative change through lengthening line is:

$$\varepsilon(t) = \frac{l_i(t) - l_{i-1}(t-T)}{L_i} \quad (3)$$

where:  $e_{i-1}(t), e_i(t)$  – is the elongation of the tape at the input and output of the area;  $L_i$  – is the distance (tape length) between printing units;  $T_i = L_i/V_i$  – is the time of tape moving between printing units.

Here the tape elongation values  $l_{i-1}(t-T_i)$  is taken in moments of the tape printing that is earlier than time  $T_i$  of the tape (marks) moving between the printing units.

Substituting (3) into (2), we obtain a control marks shift printed on adjacent printing devices:

$$x_{i/i-1} = 1/T_i \int [l_i(t) - l_{i-1}(t-T)] dt. \quad (4)$$

Thus we get the dependence of marks shift printed on adjacent printing sections from the tape elongation at the input and output areas.

We go to the operator record form, with (4) we have:

$$x_{i/i-1}(s) = 1/T_i s [l_i(s) - l_{i-1}(s)e^{-T_i s}]. \quad (5)$$

Let us consider the case when there is the tape elongation  $l_{i-1}(t)$  at the input area. This elongation of the tape at the input area will change the output elongation of the area  $l_i(t)$ , which is described by the known dependence [4]:

$$\varepsilon(t) = \frac{l_{i-1}(t) - l_{i-1}(t-T)}{L_i} \quad (6)$$

$$l_i(s) = \frac{1}{T_i s + 1} l_{i-1}(s).$$

After substituting into (5) and transformations we get:

$$x_{i/i-1}(s) = \frac{1}{T_i s} \left[ \frac{1}{T_i s + 1} - e^{-T_i s} \right] l_{i-1}(s). \quad (7)$$

Thus, we receive the dependence of marks shift from the tape elongation at the input area.

According to (7) in fig. 2 we can see the structural scheme of the model of marks (inks), printed on adjacent printing sections RRM.

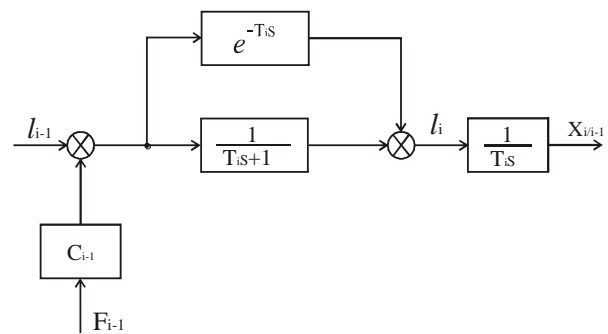
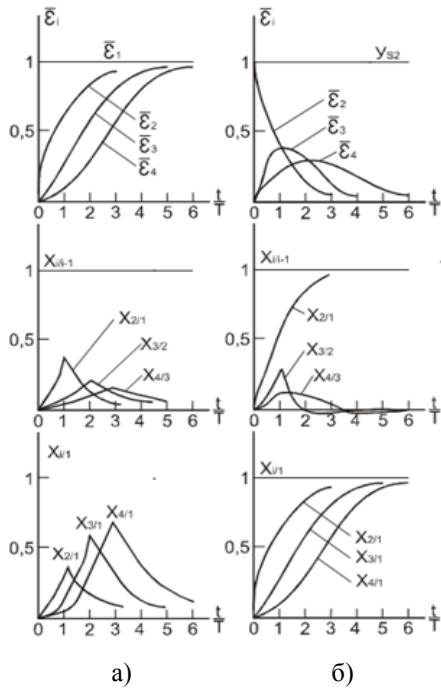


Fig. 2. Structural scheme of control marks shift

If the tape elongation at the input area is caused by the tension change, it will be determined as follows:

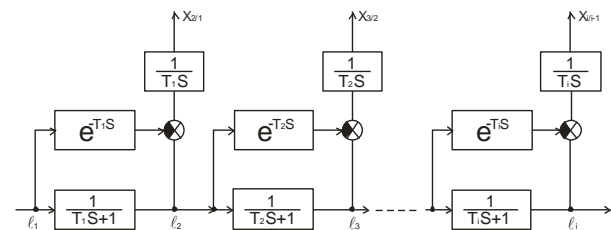
$$l_{i-1} = C_{i-1} - F_{i-1} \quad (8)$$



**Fig. 3.** Results of computer simulation of reaction of tape leading system to replace the tape tension (a) movement of register roller (b) phase change of cylinders (B)

This effect of the tension change on the inks shift is shown in fig. 2. According to (7) in fig. 3 transient parameters of ink shift when exposed to the input area of a single stepped elongation are constructed. It causes the change in state of elastic tapes, resulting in ink shift accelerating first and after the time  $T_i$  it is gradually reduced to zero. The dots mark the passage of a single print. The transition process ends by the time  $(3 \div 5) T_i$ . During this time there may be a lack of printed matters. When full tape shift happened at the area and there is the tape stable deformation, there is a full ink combination.

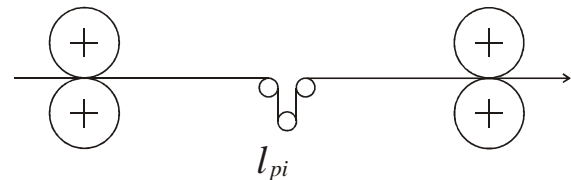
On the basis of (7) in Fig. 4 the structural scheme of the model of control marks shift for multi-ink PPM is constructed. According to the structural scheme in Fig.3 we show the transient parameters in multi-ink PPM when exposed to the input of the first section of the unit of the tape stepped elongation. The inks shift depends on the base, in relation to which the displacement is measured. When comparing each subsequent ink with the previous ( $x_2 / 1, x_3 / 2, x_4 / 3$ ) the maximum value of the displacement decreases with increasing number of inks (sections).



**Fig. 4.** Structural scheme of the model of ink shift in multi-ink printing press

If we measure the shift of all inks relatively to the first which is adopted as the base, ink shift increases with increasing number of inks (Fig. 3).

For the ink combination used in RRM we use a register roller that creates a regulatory effect on ink shift. [15-17] The scheme of the tape area with a register roller is shown in fig. 5. With regulatory action of the register roller  $l_{pi}$  we make the ink combination only on the regulated area of the tape.



**Fig. 5.** Scheme of the tape with register roller

Moving of the register roller causes instant increase (decrease) of tape elongation in the same area, which gradually decreases due to the replacement of tapes and returns to the steady mode. Dependence of tape elongation at the end of the register roller movement (regulatory action) in images:

$$l_i(s) = \frac{T_i s}{T_i s + 1} l_{pi}(s). \quad (9)$$

where:  $l_{pi}$  – is the tape moving in the area, caused by the

movement of the register roller.

Basing on (7) we can determine the ink shift caused by the movement of the register roller:

$$x_{i/i-1} = \frac{1}{T_i s} \cdot \frac{T_i s}{T_i s + 1} l_{pi}(s). \quad (10)$$

After reduction we will have:

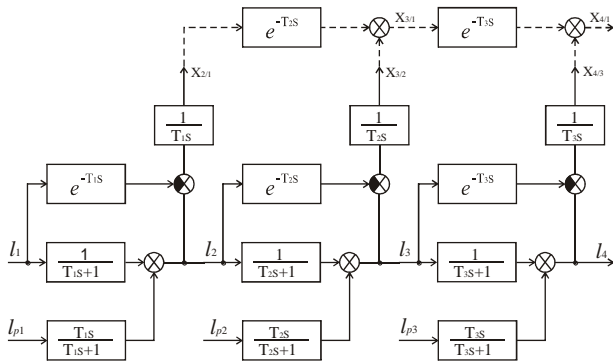
$$x_{i/i-1} = \frac{1}{T_i s + 1} l_{pi}(s). \quad (11)$$

Thus, during the regulatory action of the register roller the gradual ink combination on a regulated area for the same amount is carried out.

Basing on the analysis of (11) we conclude that the inks shift process in the area regarding the regulatory action of the register roller is the inertia object of the first order.

The change of the tape elongation  $l_i(s)$  (9), caused by the movement of the register roller, leads to a gradual fading impact of the inks shift in these areas.

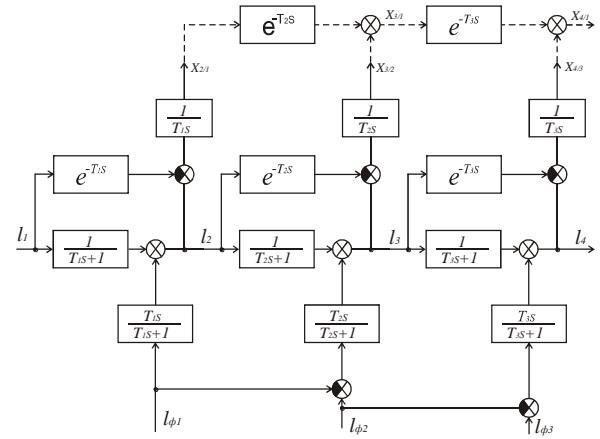
Basing on previous structural scheme and (9) and (10) in Fig. 6 we constructed the structural scheme of the model of inks shift with a regulating influence of the register roller for four-section web printing press.



**Fig. 6.** Structural scheme of the information model of ink shift with a regulating influence of the register roller for four-section web printing press

The regulatory action for ink combination can be done with phase change of plate cylinders, which causes ink shift  $l_{\phi i}$ . The reaction of the tape area on the regulatory action is similar as in the regulation of the movement of the register roller. The shift of plate cylinders  $l_{\phi i}$  will be similar (11). But the phase change of the plate cylinder simultaneously leads to similar ink shift of the opposite sign in the next area. This side effect of the regulating phase change of the plate cylinder is a negative phenomenon. This side effect can be levelled by additional regulation of the following plate cylinder. The impact of the phase displacement on the third area is due to additional deformation. Therefore, the phase change of the plate cylinder creates a permanent effect on the third section. The ink shift in this area is fading over time.

Fig. 7 presents the structural scheme of the model of ink shift with a regulating action of the phase of the plate cylinder [18-20].



**Fig. 7.** Structural scheme of the information model of ink shift with a regulating action of the phase of the plate cylinder

The ink combination in multi-ink PPM can be seen in relative position of control marks on the tape. Thus, there are two basic ways to determine the ink shift (Fig. 8):

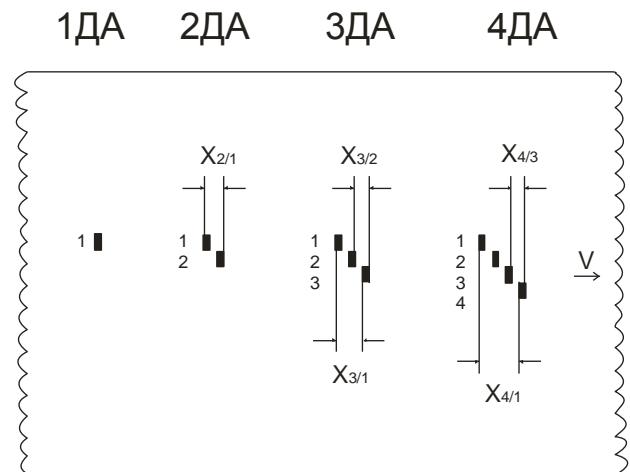
- ink shift of the following ink relatively to the previous one –  $x_{i/i-1}$ ,
- ink shift of all the following relatively to the first ink, which is adopted as basic  $x_{i/1}$ .

The ink shift of the  $i$ -th ink relatively to the first one –  $x_{i/1}$  is determined by summing of shifts at all the previous sections, taking into account the transporting time (transportation) of printed tape to the examining section:

$$x_{i/1}(t) = x_{i/i-1}(t) + x_{i-1/i}(t - T_i),$$

$$x_{i-1/i}(t) = x_{i-1/i-2}(t - T_i) + x_{i-2/i}(t - T_i - T_{i-1}). \quad (12)$$

The structural schemes in Fig.6 and Fig.7 present the models of ink shift relatively to the first one  $x_{i/1}$  shown as a dotted line.



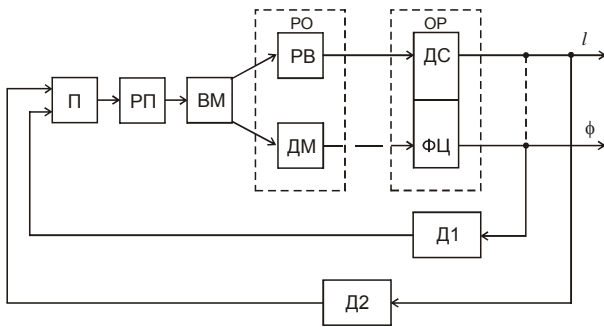
**Fig. 8.** Scheme of ink shift

Designed structural schemes of models of ink shift is the basis for a broad study of tape-driven systems of web printing presses under the influence of various disturbances and for the calculation and design of systems of automatic ink combination.

The generalized functional scheme of the regulation system of ink combination is shown in fig. 9. The object of the regulation OR is a tape area that is printed gradually in the printing section PS. Together



with a print we print the control marks of the corresponding ink. Control marks are printed on the tape areas to be cut or bended.



**Fig.9.** Generalized functional scheme of ink combination

Ink combination is measured by sensors D1 and D2, signals of which are fed to the input of the converter-amplifier P, where it is reinforced, formed and fed to the input of the reverse power amplifier PP, which takes control  $u$  to the input of the executive engine VM of the system. The latter moves the regulator unit RU of the system, which acts directly on the object with acceptable error combines inks coated on the adjacent sections.

### CONCLUSIONS

1. Ink combination is achieved by the coordination of technological operations speed with the movement of the tape through the working units providing syn-phase of their movements.

2. Using the proposed structural scheme of the model of control marks combination (inks) printed at adjacent printing units PPM we get the dependence describing mark shift from changes of tape deformation at adjacent printing units (7).

3. Using the structural scheme of the model of ink shift we have researched the possibility of using the regulatory action of the register roller and phase of plate cylinders for ink combination in four sectional web printing press. On this basis, we have developed a functional scheme of the automatic control system of ink combination, in which ink shift is determined by the marks on the tape and the regulatory action is carried out by the register roller.

The results can be used in the synthesis of systems for automatic ink shift in multi-ink web printing presses.

### REFERENCES

1. **Durnyak B. 2002.** Feedtop systermy roll rotational machines. Modeling Management / monohrph edition Atika, Kyiv, Ukraine 292.
2. **Chekhman Ya.I., Senkus V.T., Didych V.P., Bosak V.O. 2005.** Drukars'ke ustatkuvannya: pidruch. L'viv, 468.
3. **Luckiv M. M. 2000.** Automatic control for rotary machines. Lviv: Ukrainian Academy of Printing, 152.
4. **Lutskiv M. M. 2007.** Systemy upravlinnya zi sposterihayuchy my prystroyamy ta dynamichnyimi rehulyatoramy: monohr. L'viv-Lodz' 198.

5. **Durnyak B.V., Tymchenko O.V. 2003.** Matematychni modelyuvannya i realizatsiya system keruvannya strichkoprovodnykh systemamy Vyd. tsentr «PROSVITA», Kyiv, Ukraine 232
6. **Durnyak B.V. 1998.** Matematychni modeli elementiv strichkoprovodnoyi systemy rulonnykh drukars'kykh mashyn. Avtomatyzatsiya vyrobnychkykh protsesiv u mashynobuduvanni ta pryladobuduvanni. – L'viv DU «LP», – UNTZ, Vyp. 33, 67–74.
7. **Durnyak B. 1999.** Model matematychny ukkladurrolka-walek prowadzacy tasmociag u rotacijnykh maszyn drukarskich Technologia i avtomatyzacia montazu Rzeszow, NR 4. 30–33.
8. **Durnyak B.V., Tymchenko O.V. 2000.** Modelyuvannya i doslidzhennya strichkoprovodnoyi systemy bahatodvyhunnoyi rulonnoyi rotatsiynoyi mashyny Zb. nauk. pr. IPME NAN Kyiv, Ukraine Vyp. 9, 121–132.
9. **Durnyak B.V. 1999.** Systema avtomatychnoho rehulyuvannya natyahu pryamoyi diyi fleksohraf'skoyi drukars'koyi mashyny. Komp'yuterna inzheneriya ta informatsiyni tekhnolohiyi: Visn. DU «L'viv'ska politekhnika» L'viv: DU «LP» Vyp. 380, 72–76.
10. **Durnyak B.V. 2000.** Systemy rehulyuvannya natyahu za strumom yakorya pry namotuvanni strichkovykh materialiv rulonnykh drukars'kykh mashyn Tekhnichni visti. №1, 35–37.
11. **Chukhrai V., Chukhrai L. 2011.** Methods of order determination for operations of machine assembly and disassembly MOTROL: An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery. — Lublin Vol. 13, 70–79.
12. **Shevchuk O. 2014.** Information technology of the computer simulation of multimass systems MOTROL: An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery. Lublin; Rzeszow, Vol. 16., No 4. 285–291.
13. **Kobyl'nik K. Putsylo V., Strepko I., 2007.** Doslidzhennya parametriv system natyahu strichky RRM v seredovyshchi MATLAB Komp'yuterni tekhnolohiyi druzarstva: zb. nauk. pr L'viv: UAD Vyp. 18, 40–46.
14. **Luckiv M.M., Khmelnytska I.M. 2010.** Matematychni modelyuvannya i computer simulation electromechanical of feedtop system Lviv: Ukrainian Academy of Printing, 172.
15. **D'jakonov V.P. 2005.** Matlab 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6 v matematike i modelirowanii M. : SOLON-Press, 576 Lodon Dzh. Upravlenie informacionnymi sistemami / Dzh. Lodon, K. Lodon. – SPb. : Piter, 2005. – 912.
16. **Mrozek B. 2004.** MATLAB I Simulink. Povadnikuzutkovnika. Gliwice: Wud. Helion. 348.
17. **Regel W. 2004.** Przyklady I iwiczenia w programie Simulink Warszawa: Wud. Mikom, 88.
18. **Shevchuk O. 2011.** Alhorytm i prohrama modelyuvannya bahatopolyusnykh komponentiv electromechanical system pryvodiv RRM. Komp'yuterni tekhnolohiyi druzarstva: zb. nauk. pr. L'viv, № 27 67–73.

19. **Korobetsky Y., Sokolova Y. , Sokolov V. 2010.** Formation of the information model of synthesis systems, Teka Vol. 10D, 158–162.
20. **Borodakj J.V., Lobodynskij J.H. 2002.** Information technology. Methods, processes and systems Radio and feedback, 456.

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ  
ПРОЦЕССА СОВМЕЩЕНИЯ КРАСОК  
НА МНОГОКРАСОЧНЫХ РУЛОННЫХ  
РОТАЦИОННЫХ МАШИН

**Анотация.** Рассматривается построение информационной модели процесса совмещения красок на многокрасочных рулонных ротационных печатных машинах, вызванное изменением удлинение и

приростом скорости на отдельных участках ленты. Проведен анализ системы автоматического регулирования совмещения красок. Исследованы параметры систем натяжения ленты рулонных ротационных машинах (РРМ) с использованием средств среды MATLAB для различных методов совмещения технологических операций, выполненных на ленте. Предложено информационные модели для автоматического контроля совмещения красок. Представлены результаты компьютерного моделирования.

**Ключевые слова** рулонная ротационная машина, информационная модель, подвижный ленточный материал, совмещение операций, компьютерное моделирование.

## DEVELOPMENT AND RESEARCH OF INFORMATION MODEL OF INK COMBINATION PROCESS IN MULTI-INK ROTARY WEB PRESSES

***Oleksiy Shevchuk***

*Ukrainian Academy of Printing,  
Str. Pidgolosko, 19, Lviv, Ukraine. E-mail: uad\_wiz@ukr.net*

***Алексей Шевчук***

*Украинская академия печати  
Ул. Підголосо, 19, Львов, Україна. E-mail: uad\_wiz@ukr.net*

**Summary.** The article reviews the task of design of information model of the ink combination process in multi-ink rotary web presses, which is caused by the change of elongation and growth of the tape speed in the area. The analysis and research of the system of automatic control of ink combination has been done. The research of parameters of the systems of tape tension PPM in the environment MATLAB has been carried out. Methods of technological process combination performed on the tape, and synthesis of relevant models have been reviewed. The information models of automatic control of ink combination have been developed. The results of computer simulation have been presented.

**Key words:** rotary web press, information model, movable tape material, combination of operations, computer simulation.

### SET OF PROBLEM

During the movement of the tape material through the section of a rotary web printing press other technological operations are performed as well (folding (bending), die-cutting, punching, trimming, etc.). In the process of these technological operations there take place some actions to the tape, causing its deformation. In the area of contact with the leading and printing cylinders there is slippage and deformation of the tape. During technological operations the tape is under the variable influence of moisture and temperature (ink applying, moistening, drying), causing significant deformation (elongation or shrinkage) of thin tape materials such as paper, cellophane, etc. [1].

Tape-driven cylinders and working units of presses (plates and printing cylinders, rotary blades, drills) may have uncoordinated movement because of deviation of cylinder diameter from the nominal size and because of the backlash, elastic vibrations, weariness of kinematic pairs, etc. [2, 3]. This non-coordination can cause increasing the technological operations shift in the case of independent mechanisms individual drive. A significant non-coordination of movement of the tape and working units occurs at transient operating conditions (start, stop, speed change) [3]. As a result, we violate the correspondence between cyclical working units and cycles of supplying the printed tape to these units. For the combination of technological operations performed on the tape, we

need not only full equality of speeds (synchronicity of movements) of the tape and working units, but syn-phases of their movement. In this regard, we have the problem of management combining various technological operations performed at tape processing. This problem is called the support of the register [3, 4]. Under the register we understand a certain position relative to working cylinders in each particular time.

To control rotary web presses we use the systems of automated electric drive, systems of automated adjustment of tape tension when it is unwound and wound into the roll, system of automated ink combination and others.[3, 5-10]. The increased requirements to the quality of the printed matter demand the design of new highly efficient systems of automatic ink combination and optimal adjustment of the existing ones.

### ANALYSIS OF RECENT RESEARCH AND PUBLICATION

The article [11] presents the method of calculation of technological operation sequence for the criterion of minimizing of its duration. The sequence of actions and their impact on the duration of the technological cycle have been analyzed. The application of this method of calculation for technological operations of ink shift is inefficient. The article [12] presents information technologies for construction of sub-models of six-pole components for informational simulation of multi-mass mechanical systems. The developed sub-models of components of mechanical systems simplify the computer simulation of mechanical systems, and allow to model complex mechanical systems of web and sheet multicolor printing presses. The process of ink combination has not been researched in this paper.

Models of ink shift are based on the model of deformation of movable tape section and under certain assumptions [1, 3, 4, 13] that is why the process of ink shift is described inadequately which prevents the synthesis of ink combination system. From the above we have the problem of design and analyses of appropriate models of ink combinations in multi-ink rotary web printing presses.

The aim of the article is to design the information model of the ink combination process in multi-ink rotary web printing presses, at the action of major disturbances— elongation of the tape and the growth of the tape speed in the area.

PRESENTATION OF MAIN MATERIAL

The task of management is to achieve synchronous syn-phase tape movement and working units of the press (printing machine, folding unit, rotary knife). The position of the image of a new print, bend or cut with acceptable accuracy, must comply to the position with previously printed image on the tape. Necessary precision of ink combination is 0.05 ... 0.15 mm or less, and precision of tape cutting on a piece of sheet is 0.5 mm [14].

We should note that the length of tape from one technological operation to the other can reach 15–20 m, and the speed of the tape in modern printing presses is 8–12 m/sec. Significant impact on the accuracy of technological operations is made by a cyclic change in tape tension at rolls unwinding of irregular shape. Therefore, there may be a shift of technological operations and its rapid accumulation, leading to deterioration in the quality of printed products. In printing presses that have low speed, the control and regulation of ink shift can be done by a printer visually, you can also have selective visual control and precision control depending entirely on the individual capabilities of the printer. It is important to monitor the inks shift when printing from roll to roll (packaging products, manufacturing of labels, etc.). Visual quality control is possible only with the presses at low speed.

Let us consider multi-ink PPM, the scheme of which is shown in Fig.1. Elastic paper tape moves and is gradually printed in printing sections. Control marks are printed at the end of prints in each printing unit. At steady regime at constant speed  $V$  and constant tension on the tape  $F_i$  we print marks with consecutive numbers  $1, 2, \dots, i$  with intervals (length of the print)  $L_0 = Vdt$ . These control marks applied on different printing sections will be the same.

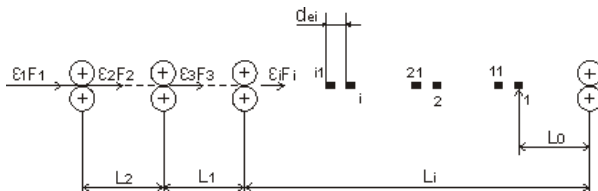


Fig. 1. Scheme of printing of control marks in multi-ink PPM

Let us assume that at a certain time there was an additional elastic deformation of the tape. For example, increasing the tape tension before  $(i-1)$  by the printing unit there is further deformation of the tape that will lead to a shift of marks as to their previous position. Then the change of the tape relative elongation is [14]:

$$\Delta \varepsilon(t) = \frac{dx_i}{L_0} = \frac{dx_i}{Vdt_i} \tag{1}$$

where:  $dx_i(t)$  – is an elementary shift of the tape.

Dividing the variables and integrating the equation (1), we obtain the dependence of the mark shift on the change of the tape deformation:

$$x_i(t) = V \int \Delta \varepsilon_i(t) dt. \tag{2}$$

Thus, we get the dependence of control mark shift on changing the tape deformation in the area.

Let us consider the shift of control marks printed on the tape on  $i$ -th and  $(i-1)$ -th printing units when changing the tape elongation at the input  $(i-1)$ -th printing unit. The expression of relative change through lengthening line is:

$$\varepsilon(t) = \frac{l_i(t) - l_{i-1}(t-T)}{L_i} \tag{3}$$

where:  $e_{i-1}(t), e_i(t)$  – is the elongation of the tape at the input and output of the area;  $L_i$  – is the distance (tape length) between printing units;  $T_i = L_i/V_i$  – is the time of tape moving between printing units.

Here the tape elongation values  $l_{i-1}(t-T_i)$  is taken in moments of the tape printing that is earlier than time  $T_i$  of the tape (marks) moving between the printing units.

Substituting (3) into (2), we obtain a control marks shift printed on adjacent printing devices:

$$x_{i/i-1} = 1/T_i \int [l_i(t) - l_{i-1}(t-T)] dt. \tag{4}$$

Thus we get the dependence of marks shift printed on adjacent printing sections from the tape elongation at the input and output areas.

We go to the operator record form, with (4) we have:

$$x_{i/i-1}(s) = 1/T_i s [l_i(s) - l_{i-1}(s)e^{-T_i s}]. \tag{5}$$

Let us consider the case when there is the tape elongation  $l_{i-1}(t)$  at the input area. This elongation of the tape at the input area will change the output elongation of the area  $l_i(t)$ , which is described by the known dependence [4]:

$$\varepsilon(t) = \frac{l_{i-1}(t) - l_{i-1}(t-T)}{L_i} \tag{6}$$

$$l_i(s) = \frac{1}{T_i s + 1} l_{i-1}(s).$$

After substituting into (5) and transformations we get:

$$x_{i/i-1}(s) = \frac{1}{T_i s} \left[ \frac{1}{T_i s + 1} - e^{-T_i s} \right] l_{i-1}(s). \tag{7}$$

Thus, we receive the dependence of marks shift from the tape elongation at the input area.

According to (7) in fig. 2 we can see the structural scheme of the model of marks (inks), printed on adjacent printing sections RRM.

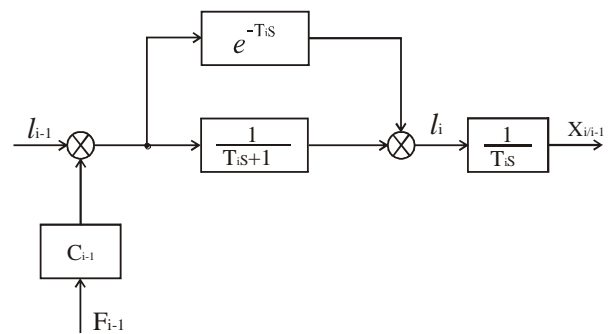
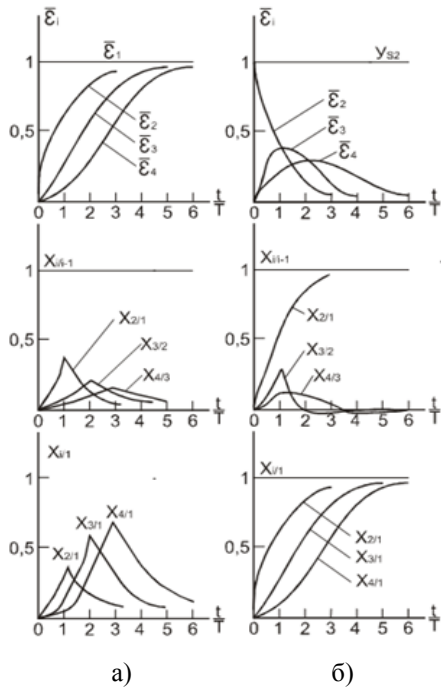


Fig. 2. Structural scheme of control marks shift

If the tape elongation at the input area is caused by the tension change, it will be determined as follows:

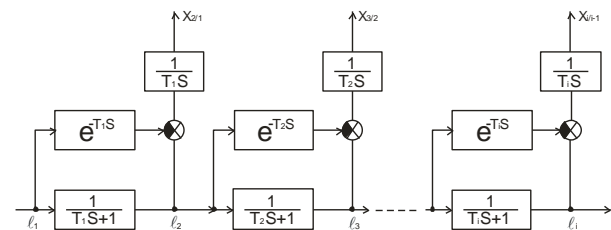
$$l_{i-1} = C_{i-1} - F_{i-1} \tag{8}$$



**Fig. 3.** Results of computer simulation of reaction of tape leading system to replace the tape tension (a) movement of register roller (b) phase change of cylinders (B)

This effect of the tension change on the inks shift is shown in fig. 2. According to (7) in fig. 3 transient parameters of ink shift when exposed to the input area of a single stepped elongation are constructed. It causes the change in state of elastic tapes, resulting in ink shift accelerating first and after the time  $T_i$  it is gradually reduced to zero. The dots mark the passage of a single print. The transition process ends by the time  $(3 \div 5) T_i$ . During this time there may be a lack of printed matters. When full tape shift happened at the area and there is the tape stable deformation, there is a full ink combination.

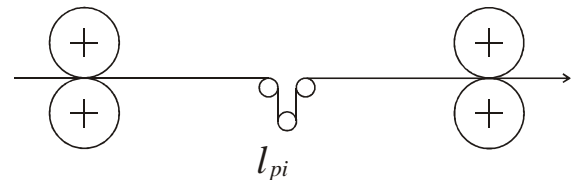
On the basis of (7) in Fig. 4 the structural scheme of the model of control marks shift for multi-ink PPM is constructed. According to the structural scheme in Fig.3 we show the transient parameters in multi-ink PPM when exposed to the input of the first section of the unit of the tape stepped elongation. The inks shift depends on the base, in relation to which the displacement is measured. When comparing each subsequent ink with the previous ( $x_2 / 1, x_3 / 2, x_4 / 3$ ) the maximum value of the displacement decreases with increasing number of inks (sections).



**Fig. 4.** Structural scheme of the model of ink shift in multi-ink printing press

If we measure the shift of all inks relatively to the first which is adopted as the base, ink shift increases with increasing number of inks (Fig. 3).

For the ink combination used in RRM we use a register roller that creates a regulatory effect on ink shift. [15-17] The scheme of the tape area with a register roller is shown in fig. 5. With regulatory action of the register roller  $l_{pi}$  we make the ink combination only on the regulated area of the tape.



**Fig. 5.** Scheme of the tape with register roller

Moving of the register roller causes instant increase (decrease) of tape elongation in the same area, which gradually decreases due to the replacement of tapes and returns to the steady mode. Dependence of tape elongation at the end of the register roller movement (regulatory action) in images:

$$l_i(s) = \frac{T_i s}{T_i s + 1} l_{pi}(s). \quad (9)$$

where:  $l_{pi}$  – is the tape moving in the area, caused by the

movement of the register roller.

Basing on (7) we can determine the ink shift caused by the movement of the register roller:

$$x_{i/i-1} = \frac{1}{T_i s} \cdot \frac{T_i s}{T_i s + 1} l_{pi}(s). \quad (10)$$

After reduction we will have:

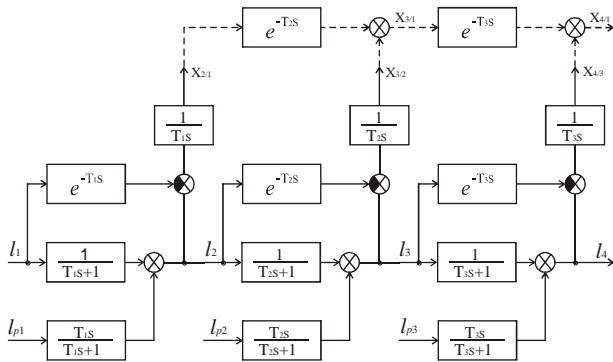
$$x_{i/i-1} = \frac{1}{T_i s + 1} l_{pi}(s). \quad (11)$$

Thus, during the regulatory action of the register roller the gradual ink combination on a regulated area for the same amount is carried out.

Basing on the analysis of (11) we conclude that the inks shift process in the area regarding the regulatory action of the register roller is the inertia object of the first order.

The change of the tape elongation  $l_i(s)$  (9), caused by the movement of the register roller, leads to a gradual fading impact of the inks shift in these areas.

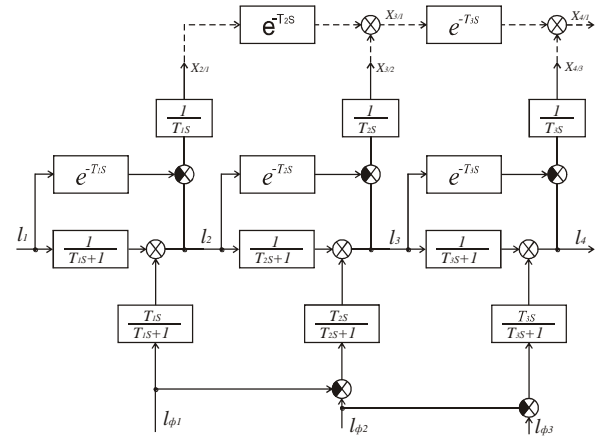
Basing on previous structural scheme and (9) and (10) in Fig. 6 we constructed the structural scheme of the model of inks shift with a regulating influence of the register roller for four-section web printing press.



**Fig. 6.** Structural scheme of the information model of ink shift with a regulating influence of the register roller for four-section web printing press

The regulatory action for ink combination can be done with phase change of plate cylinders, which causes ink shift  $l_{\phi i}$ . The reaction of the tape area on the regulatory action is similar as in the regulation of the movement of the register roller. The shift of plate cylinders  $l_{\phi i}$  will be similar (11). But the phase change of the plate cylinder simultaneously leads to similar ink shift of the opposite sign in the next area. This side effect of the regulating phase change of the plate cylinder is a negative phenomenon. This side effect can be levelled by additional regulation of the following plate cylinder. The impact of the phase displacement on the third area is due to additional deformation. Therefore, the phase change of the plate cylinder creates a permanent effect on the third section. The ink shift in this area is fading over time.

Fig. 7 presents the structural scheme of the model of ink shift with a regulating action of the phase of the plate cylinder [18-20].



**Fig. 7.** Structural scheme of the information model of ink shift with a regulating action of the phase of the plate cylinder

The ink combination in multi-ink PPM can be seen in relative position of control marks on the tape. Thus, there are two basic ways to determine the ink shift (Fig. 8):

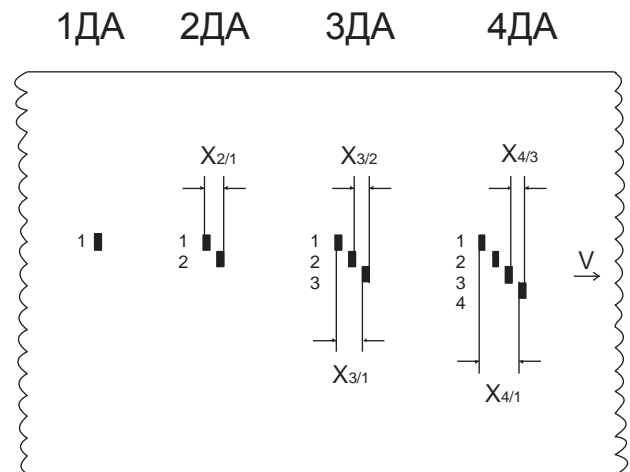
- ink shift of the following ink relatively to the previous one –  $x_{i/i-1}$ ,
- ink shift of all the following relatively to the first ink, which is adopted as basic  $x_{i/1}$ .

The ink shift of the  $i$ -th ink relatively to the first one –  $x_{i/1}$  is determined by summing of shifts at all the previous sections, taking into account the transporting time (transportation) of printed tape to the examining section:

$$x_{i/1}(t) = x_{i/i-1}(t) + x_{i-1/i}(t - T_i),$$

$$x_{i-1/i}(t) = x_{i-1/i-2}(t - T_i) + x_{i-2/i}(t - T_i - T_{i-1}). \quad (12)$$

The structural schemes in Fig.6 and Fig.7 present the models of ink shift relatively to the first one  $x_{i/1}$  shown as a dotted line.



**Fig. 8.** Scheme of ink shift

Designed structural schemes of models of ink shift is the basis for a broad study of tape-driven systems of web printing presses under the influence of various disturbances and for the calculation and design of systems of automatic ink combination.

The generalized functional scheme of the regulation system of ink combination is shown in fig. 9. The object of the regulation OR is a tape area that is printed gradually in the printing section PS. Together





19. **Korobetsky Y., Sokolova Y. , Sokolov V. 2010.** Formation of the information model of synthesis systems, Teka Vol. 10D, 158–162.
20. **Borodakj J.V., Lobodynskij J.H. 2002.** Information technology. Methods, processes and systems Radio and feedback, 456.

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ  
ПРОЦЕССА СОВМЕЩЕНИЯ КРАСОК  
НА МНОГОКРАСОЧНЫХ РУЛОННЫХ  
РОТАЦИОННЫХ МАШИН

**Анотация.** Рассматривается построение информационной модели процесса совмещения красок на многокрасочных рулонных ротационных печатных машинах, вызванное изменением удлинение и

приростом скорости на отдельных участках ленты. Проведен анализ системы автоматического регулирования совмещения красок. Исследованы параметры систем натяжения ленты рулонных ротационных машинах (PPM) с использованием средств среды MATLAB для различных методов совмещения технологических операций, выполненных на ленте. Предложено информационные модели для автоматического контроля совмещения красок. Представлены результаты компьютерного моделирования.

**Ключевые слова** рулонная ротационная машина, информационная модель, подвижный ленточный материал, совмещение операций, компьютерное моделирование.



## АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ БИОМАССЫ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ

*Катерина Сиротюк*

*Львовский национальный аграрный университет  
Ул. В. Великого, 1, Дубляны, Украина. E-mail: katiakate@ukr.net*

*Kateryna Syrotiuk*

*Lviv National Agrarian University  
St. Vladimir Velykyi, 1, Dubliany, Ukraine. E-mail: katiakate@ukr.net*

**Аннотация.** В статье представлен анализ эффективности использования биомассы в энергетических целях и разработана система показателей эффективности. Дано определение эффективности и отмечено, что эффективность характеризуется относительными показателями, которые рассчитываются на основе двух групп характеристик – результаты и затраты.

Рассмотрены следующие виды эффективности: экологическая, экономическая, энергетическая, социальная, агробиохимическая и политическая. Наибольшее внимание уделено экономической эффективности, суть которой заключается в получении максимальной выгоды при минимальных затратах за счет уменьшения в структуре стоимости товарной продукции энергетической составляющей.

Отмечено, что одной из главных предпосылок обеспечения эффективной деятельности предприятия является оценка ее уровня, которая начинается с установления критериев эффективности. Значительным методом оценки использования биомассы на энергетические потребности являются эколого-энергетический подход, сущность которого заключается в том, что вместо стоимостной оценки использования биомассы применяются энергетические показатели. Это обусловлено тем, что на оценку эффективности биомассы в денежном выражении влияет ряд факторов, таких как инфляционные процессы, диспаритет цен на сельскохозяйственную продукцию.

Обосновано, что большинство критериев эффективности не имеет количественной оценки, а их параметры могут быть определены непосредственно через качественные показатели.

Приведена система показателей эффективности использования биомассы: экономической, энергетической, экологической, социальной. Основными методическими аспектами экономической и энергетической оценки производства и использования биомассы является сопоставление двух величин: объема израсходованной совокупной энергии в растениеводстве (на 1 га конкретной культуры) и произведенной растениями биологической энергии. Важное место отведено коэффициенту энергетической эффективности.

Обоснована необходимость комплексного системного подхода к оценке уровня эффективности

использования сельскохозяйственной биомассы в энергетических целях.

**Ключевые слова:** эффективность, биомасса, оценка, критерии эффективности, эколого-энергетический подход.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Одним из ключевых возобновляемых энергетических ресурсов будущего является биомасса. Опыт стран ЕС показывает, что из всех секторов биоэнергетики наиболее динамично развивается производство тепловой энергии. Украина имеет хорошие предпосылки для существенного расширения использования биомассы в энергетических целях, в первую очередь для производства тепловой энергии. Одной из таких предпосылок является значительный потенциал биомассы, доступной для производства энергии. Основными составляющими потенциала являются отходы сельского хозяйства и биомасса энергетических культур. В зависимости от урожайности основных сельскохозяйственных культур экономически целесообразный потенциал колеблется в пределах 25-35 млн. т у.т./год, что составляет 13-18% потребления первичных видов топлива в Украине [1].

Биомасса, которая выращивается регулярно, а ее использование в качестве источника энергии не сопровождается уменьшением количества зеленых насаждений в регионе, признается восстановительным ресурсом и считается экологически нейтральной (имеет нулевой баланс выбросов углекислого газа).

Рассматривая использование биомассы аграрными формированиями в энергетических целях, особого внимания заслуживает разработка системы показателей эффективности. Для этого необходимо обосновать важнейшие категории, разработать методические основы, критерии и показатели, определив информационное обеспечение исследования, довести информативность результатов.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Вопросы анализа и оценки эффективности использования биомассы неоднократно освещались в научных трудах Г. Калетника, Г. Гелетухи, В. Дуб-

ровина, С. Кудри, В. Месель-Веселяка, В. Рожко и др. [1-5].

Энергетический подход к определению эффективности производства впервые предложил С.А. Подолинский, а дальнейшего развития он приобрел в трудах В.И. Вернадского [15, 16], В.В. Гришко, П.И. Иваненко, П. Кузнецова, М.Д. Руденко и др.

Исследование ресурсной базы сельскохозяйственного сырья для энергетического использования проводили ученые: С. Кафлевская, Н. Дидух, В. Боярчук, А. Прокоп, Г. Голуб, М. Калетник, А. Кабак, А. Скорук, W. Niemiec, F. Stachowicz, T. Trzepieciński и др. [6-11].

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Основной задачей проведенного исследования является анализ показателей эффективности использования биомассы для энергетических целей и методика их определения.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Эффективность является результативностью хозяйствования. Мочерный С.В. считает, что эффективность – это способность приносить эффект, результативность процесса, проекта и т.д., которые определяются как отношение эффекта, результата к затратам, которые обеспечили этот результат [12].

Эффект одноразовый и мультипликационный. Одноразовый эффект получают однократно, и он не повторяется в будущих периодах. Мультипликационный эффект показывает, что эффективное использование ресурсов на одном предприятии привело к повышению эффективности на других, связанных с ним. Он имеет несколько форм проявления.

Эффективность определяется отношением результата (эффекта) к затратам, которые обеспечили его получения и раскрывает характер причинно-следственных связей производства. Она показывает не сам результат, а какой ценой он был достигнут.

По мнению авторов Жнякина Б.А. и Красновой В.В. «...Эффективность – это соотношение результата (эффекта) с затратами, которые вызывают этот эффект» [13]. В технике, например, в энергетике, эффективность измеряется коэффициентом полезного действия, показывает, какая отдача одной условной единицы топлива. Соответственно, чем больше потерь при передаче энергии, ее перехода с одного вида энергии в другой, тем меньше коэффициент полезного действия.

В экономике предприниматель организует собственное дело в надежде получить эффект в виде вновь созданной стоимости и накапливает собственные ресурсы (вкладывает капитал) и привлеченные (труд наемных работников). Следовательно, эффективность производства отражает конечные результаты использования средств и рабочей силы за соот-

ветствующий промежуток времени и отображается формулой:

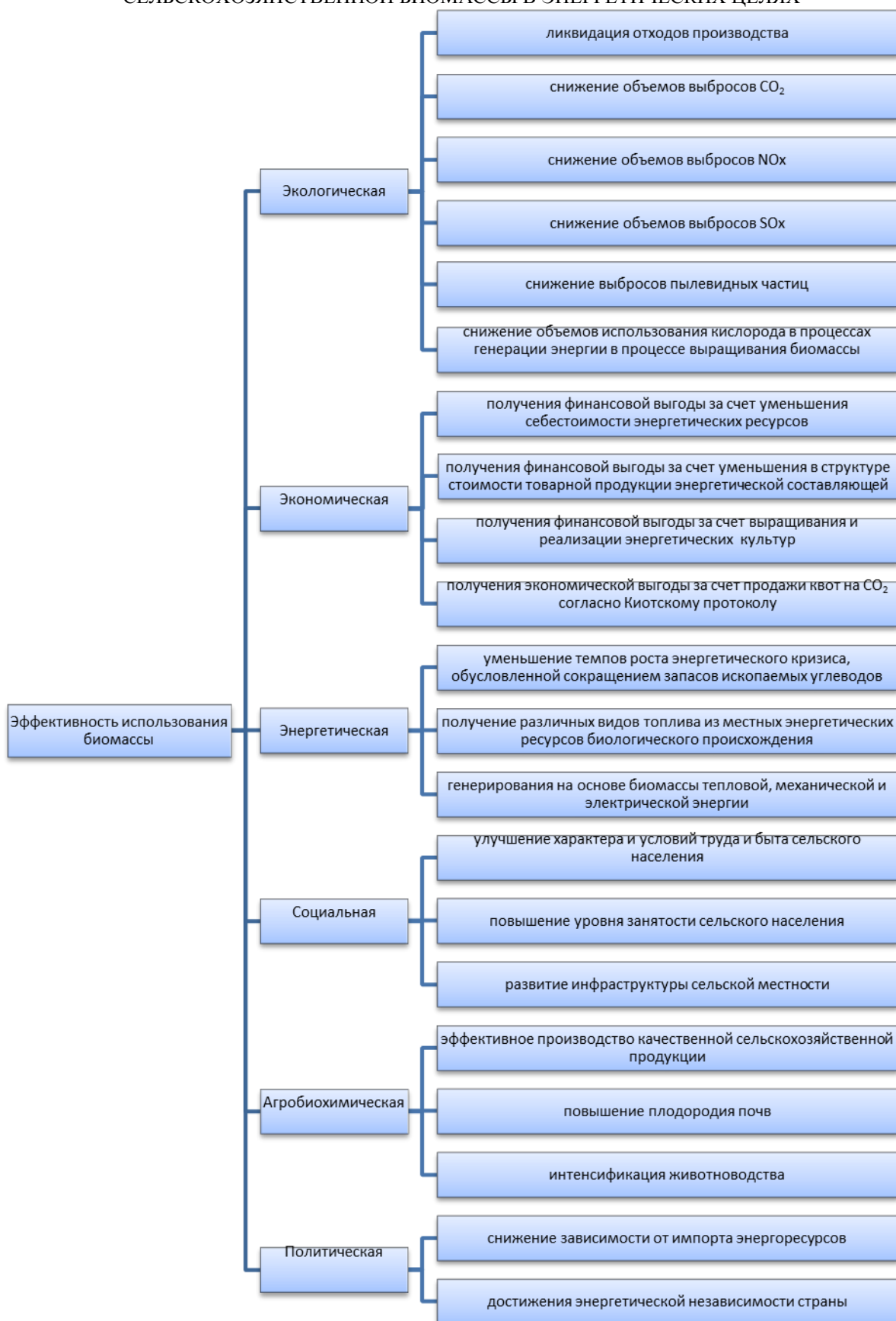
$$\text{Эффективность} = \frac{\text{результат(эффект)}}{\text{ресурси(издержки)}}. \quad (1)$$

В зависимости от целей определения эффективности результат (эффект) может быть оценен разными показателями, которые характеризуют промежуточные и конечные результаты деятельности. Например, экономический эффект может быть оценен показателями: объем прибыли (балансовой, чистой); экономия отдельных видов ресурсов в натуральном или стоимостном выражении; снижение себестоимости (для убыточных производств).

Понятие «эффективность» является разносторонним и используется в различных сферах деятельности. В научной литературе в основном имеют место экономическая, социальная и экологическая эффективность. Считаем необходимым дополнить и рассмотреть следующие виды эффективности: экологическая, экономическая, энергетическая, социальная, агриобиохимическая и политическая. На рис. 1 рассмотрим виды эффективности по использованию сельскохозяйственной биомассы в энергетических целях, каждая из которых имеет свои особенности.

Интегральным показателем экологической эффективности использования биомассы в аграрных формированиях может служить уровень замещения в технологических процессах энергии полученной из ископаемых в т.ч. и электроэнергии. Это объясняется тем, что в результате замещения уменьшается деструктивное влияние производства на окружающую среду и негативное влияние производства на здоровье населения региона. Частично количественную оценку экологической эффективности замещения энергии ископаемых биомассой можно осуществить сопоставлением отвлеченных затрат на восстановление здоровья, приходящихся на единицу замещенной энергии сопровождается вредными выбросами при ее производстве. Часть экологической эффективности использования биомассы может быть оценена количеством электрической энергии, которую она замещает и отвлеченными затратами, которые приходится на единицу этой энергии.

Экономическая эффективность – достижение наибольших результатов с наименьшими затратами живого и овеществленного труда. Экономическая эффективность является конкретной формой действия закона экономии времени. Экономический эффект является абсолютным показателем, характеризующим результат деятельности в денежной оценке. В свою очередь, экономическая эффективность является относительным показателем, позволяющим сравнить полученный эффект с затратами, которые необходимо осуществить для получения запланированного эффекта [14].



**Рис. 1.** Система показателей эффективности использования сельскохозяйственной биомассы в энергетических целях

**Fig. 1** The system of indicators of efficiency of use of agricultural biomass for energy purposes

Разделяя взгляды ведущих ученых к определению экономической эффективности использования биомассы, предлагаем свое мнение к данной категории. Экономическая эффективность – это максимальная выгода при минимальных затратах за счет уменьшения в структуре стоимости товарной продукции энергетической составляющей

Энергетическая эффективность – уменьшение темпов наращивания энергетического кризиса, обусловленной сокращением запасов ископаемых углеводородов, получения различных видов топлива из местных энергетических ресурсов биологического происхождения и генерирования на их основе тепловой, механической и электрической энергии.

Агробиохимическая эффективность – эффективное производство качественной сельскохозяйственной продукции и повышение плодородия почв, в результате применения экологически чистых органических удобрений.

Социальная эффективность – улучшение характера и условий труда и быта сельского населения, а также повышение уровня его занятости.

Политическая эффективность – снижение зависимости от импорта энергоресурсов и достижения энергетической независимости страны.

Одной из главных предпосылок обеспечения эффективной деятельности предприятия является оценка ее уровня. Оценка эффективности начинается с установления критериев эффективности, то есть главного признака оценки эффективности. Содержание критерия эффективности вытекает из необходимости максимизации получаемых результатов или минимизации расходов исходя из целей предприятия. Такими целями могут быть: обеспечение существования предприятия; достижения устойчивого развития; структурная перестройка; социальная стратегия и тому подобное.

Большинство критериев эффективности не имеет количественной оценки, например социальный, экологический, политический. Их параметры могут быть определены непосредственно через качественные показатели.

Академик Вернадский В.И. наивысшим приоритетом ставит экологический критерий, который в основном влияет на устойчивое развитие общества.

Согласно закону сохранения биомассы В.И. Вернадского физико-экономическое моделирование хозяйственной деятельности в каждой экологосоциальнохозяйственной системе (ЭСХС) требует определения факторов влияния на константу природной упорядоченности. Поскольку, в отличие от экономического рынка, где каждая следующая, скажем, рубашка менее ценна для потребителя, на природном рынке ЭСХС каждая последующая экологическая услуга ценнее для «биофизического потребителя» – природы.

Поэтому хозяйство экономики не имеет права разрушать хозяйства природы [15, 16].

Критерии показателей эффективности содержат:

- организационные показатели (organizational metrics) – удовлетворение клиентов;

- финансовые показатели (financial metrics) – выручка, рентабельность и денежный поток;

- процессные показатели (process metrics) – производительность, качество и задержки процесса [17].

Основным принципом формирования системы показателей эффективности и выражение ее сути является соотношение конечного результата и эффекта (прибыли) с примененными и потребленными ресурсами. Соотношение показателей может рассчитываться разными способами. Так, при определении показателя эффективности как отношение результата в виде объема выпуска (реализации) продукции или эффекта (прибыли) к ресурсам или затратам к объему выпуска (реализации) продукции или эффекта (прибыли) важно достичь минимизации.

Экономический эффект является абсолютным показателем, характеризующим результат деятельности в денежной оценке. В свою очередь, экономическая эффективность является относительным показателем, позволяющим сравнить полученный эффект с затратами, которые необходимо осуществить для получения запланированного эффекта.

Также показателями экономической эффективности является производительность и фондоемкость труда, фондоотдача и фондоемкость продукции, материалоотдача и материалоемкость продукции, экономическая эффективность капитальных вложений, новой техники, энергоемкость продукции и др.

Следовательно, система показателей экономической эффективности использования биомассы в энергетических целях – это компонент интегральной системы показателей экономической эффективности хозяйственной деятельности аграрных предприятий, который представляет собой комплексный экономический инструментальный относительно объективного отражения и оценки уровня экономической эффективности производства продукции, тенденций и закономерностей ее изменения, нахождение резервов и возможных путей роста.

Основными методическими аспектами экономической и энергетической оценки производства и использования биоэнергетических ресурсов является сопоставление двух величин: объема израсходованной совокупной энергии в растениеводстве (на 1 га конкретной культуры) и произведенной растениями биологической энергии. При этом уменьшение энергозатрат на единицу площади или на единицу продукции при повышении биоэнергетической эффективности не должно влиять на ухудшение качества выращенной продукции.

Наиболее распространенным в научной литературе является коэффициент энергетической эффективности ( $K_{ee}$ ) [18, 19], который определяется как отношение затраченной энергии на производство единицы продукции к его энергетической емкости:

$$K_{ee} = \frac{E_c}{E_s}, \quad (2)$$

где:  $E_c$  – энергия в единице продукции;  $E_s$  – затраченная энергия на единицу производимой продукции. При  $K_{ee} > 1$  культуры, сорта или технологии эффективны.

В отличие от биоэнергетической экономическая эффективность любого процесса определяется путем сопоставления затрат на проведение мероприятий и результатов, полученных в результате их реализации.

Для того, чтобы использовать энергию в производственных целях и для определения возможности повышения производительности предлагается учет трех основных факторов: наличия достаточных запасов энергии, эффективности использования энергии и норм ее использования. Наряду с повышением продуктивности растений и труда людей, приоритетным фактором интенсификации является снижение материальных и энергетических затрат на производство продукции в сельскохозяйственных предприятиях. Энергетическая оценка урожая объективно отражает результативность выращивания сельскохозяйственных культур.

Важным методом оценки использования биомассы на энергетические потребности являются эколого-энергетический подход. Сущность этого подхода заключается в том, что вместо стоимостной оценки использования биомассы применяются энергетические показатели. Это обусловлено тем, что на оценку эффективности биомассы в денежном выражении влияет ряд факторов, таких как инфляционные процессы, диспаритет цен на сельскохозяйственную продукцию.

В расчетах экологической эффективности от природоохранной деятельности существует понятие убытков потенциальных, фактических или отвлеченных, то есть таких, которые удалось избежать внедрением достижений НТП по предотвращению загрязнения окружающей среды.

Показателями экологического эффекта являются:

- снижение выбросов в окружающую среду вредных веществ;
- уменьшение отходов производства; утилизация и регенерация твердых отходов и сточных вод;
- уменьшение энергоемких производств;
- применение оборотных циклов использования природных ресурсов;
- повышение эргономичности и улучшение экологичности производимых товаров или услуг (шумовое загрязнение, вибрация, магнитное поле, радиационный фон, химические вещества, вызывающие аллергию);
- снижение штрафов за загрязнение окружающей среды.

Использование в технологических процессах аграрного производства энергии, полученной из возобновляемых источников, обеспечивает как прямой, так и косвенный эффект, в частности, предотвращение фактических потенциальных убытков, так и отвлеченных.

Основными показателями социального эффекта является социальная защита работников, которая связана с созданием новых рабочих мест, повышение уровня занятости населения и заработной платы. В то же время удовлетворение первоочередных физиологических потребностей людей, обеспечение безопасности жизнедеятельности, повышение

уровня квалификации работников, роста качества и продолжительности жизни и др.

Рассматривая показатели энергетической эффективности, выделим их классификацию, в основу которой положено разделение на базовые классы [20]:

- физико-технические, которые характеризуют степень технического совершенства технологий потребления, транспортировки и хранения ТЭР,
- социально-энергетические, которые характеризуются экономически и социально обоснованным уровнем расходов ТЭР для достижения социально приемлемых стандартов качества жизни человека и общества,
- экономико-энергетические, они характеризуют соотношение между результатами экономической деятельности и соответствующими объемами расходов ТЭР.

Особое место отводится социальным показателям эффективности. Безработица и занятость – явления очень сложные и многоаспектные, поэтому характеризовать их нужно с разных сторон и разными показателями.

Можно выделить две группы показателей социально-экономических явлений:

- 1) абсолютные, отражающие размеры, объем занятости и безработицы, отражая численность соответственно занятых и безработных,
- 2) относительные, которые показывают уровень распространенности в обществе определенного явления, отражая долю соответствующей категории относительно всего (или определенной большей категории) населения.

Анализ экономических показателей дает возможность оценить потери от неполного использования ресурсов труда вследствие безработицы.

Уменьшение таких категорий населения как численность экономически активного и занятого населения (а также уровня экономической активности и занятости), означает уменьшение ресурсов для работы, то есть это является нежелательной тенденцией для экономики страны.

Уменьшение количества безработных и уровня безработицы означают экономическое улучшение ситуации на рынке труда.

## ВЫВОДЫ

1. Выполненные нами исследования свидетельствуют о необходимости комплексного системного подхода к оценке уровня эффективности использования сельскохозяйственной биомассы в энергетических целях.

2. Эффективность финансово-хозяйственной деятельности аграрных предприятий в конечном итоге будет характеризоваться соответствующим количеством показателей оценки, обобщающие многочисленные первичные показатели по степени их важности и влияния на составляющие эффективности – результаты и затраты.

3. С целью формирования унифицированных подходов к анализу показателей эффективности использования сельскохозяйственной биомассы в энергетических целях требуется дальнейшая обра-

ботка системы показателей-индикаторов, которые характеризуют ее тактическую и стратегическую эффективность.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Гелетуха Г. 2013.** Перспективы производства тепловой энергии из биомассы <<http://obozrevatel.com/>>
2. **Калетник Г.М. 2010.** Биотопливо. Монография. Продовольственная, энергетическая и экономическая безопасность Украины. – М.: «Хай-Тек Пресс. 516. (Украина).
3. **Месель-Веселяк В.Я. 2015.** Производство альтернативных видов энергетических ресурсов как фактор повышения эффективности сельскохозяйственных предприятий. Экономика АПК. № 2, 18. (Украина).
4. Новейшие технологии биоэнергоконверсии: Монография / Я.Б. Блюм, Г.Г. Гелетуха, И.П. Григорюк, В.А. Дубровин, А.И. Емец, М. Мешкотко, М. Калетник, М.Д. Мельничук, В. Мироненко, Д.Б. Рахметов, С.П. Цыганков 2010 – К. «Аграр Медиа Групп», 360. (Украина).
5. **Роженко В., Балабуха С., Роженко И. 2012.** Биомасса - ресурс земли. Предложение. № 1, 98 – 101. (Украина).
6. **Niemiec W., Stachowicz F., Trzepieciński T. 2013.** New machines for energy willow harvest in small plantations / Lviv Polytechnic National University Institutional Repository <<http://ena.lp.edu.ua/>>
7. **Кабак А.А. 2013.** Эколого-энергетический анализ выращивания биоэнергетических культур. Новые технологии выращивания сельскохозяйственных энергетических культур. – Киев: М-во аграрной политики и продовольствия Украины, НУБиП, 354. (Украина).
8. **Скорук А.П. 2013.** Перспективы развития возобновляемой энергетики в Украине. Экономика АПК. № 5, 63 – 67. (Украина).
9. **Прокоп А.В. 2012.** Современные подходы к энергообеспечению человечества в условиях формирования общества устойчивого развития. Экономика Украины. № 5, 85–90. (Украина)
10. **Голуб Г., Павленко М., Осауленко С. 2014.** Экономическая эффективность производства дизельного биотоплива в условиях фермерских хозяйств. MOTROL. Commission of Motorization and energetics in agriculture. Vol.16. №.4. 263-268.
11. **Дидух Н.И. 2013.** Оценка энергетического баланса и перспектив производства и использования биотоплива из рапса в сельском хозяйстве Житомирской области <[http:// old.znau.edu.ua/](http://old.znau.edu.ua/)> (Украина).
12. **Мочерный С.В. 2002.** Экономическая энциклопедия. В 3 т. Т.1 / Редкол.: С. В. Мочерный (отв. ред.) и др. – М.: Изд. центр «Академия», 950. (Украина).
13. **Жнякин Б.А., Краснова В.В. 2005.** Экономика предприятия: Учеб. пособие. Донецк: Альфа-пресс, 160. (Украина).
14. **Савицкая Г.В. 2004.** Анализ эффективности деятельности предприятия. Методологические аспекты. – 2-е изд., испр. – М.: Новое знание, 5.
15. **Вернадский В.И. 1977.** Размышления натуралиста. Научная мысль как планетарное явление. Книга вторая. М.: «Наука», 191.
16. **Гринев Л.С. 2013.** Развитие идей В.И. Вернадского в новейшей экономической науке Вестн. НАН Украины. – № 7, 44 – 52. (Украина).
17. **Дерлоу Д. 2001.** Ключевые управленческие решения. Технология принятия решений. – М.: Всеуито, Научная мысль, 242. (Украина).
18. **Рубан-Максимец А.А. 2009.** Особенности расчета показателей энергетической эффективности на базе статистической отчетности Украины // Проблемы общей энергетики. – № 20, 21 – 26. (Украина).
19. **Боярчук В., Чучман В. 2012.** Оценка энергоэффективности технологий использования соломы рапса в энергетических целях. MOTROL. Commission of Motorization and energetics in agriculture..14. № 4, 11 – 15. (Украина).
20. **Месель-Веселяк В.Я., Паштецкий В.С. 2011.** Эффективность применения альтернативных видов энергии в сельском хозяйстве Украины. Экономика АПК. № 12, 3 – 9. (Украина)

#### ANALYSIS OF EFFICIENCY INDICATORS OF AGRICULTURAL BIOMASS UTILIZATION FOR ENERGY PURPOSES

**Summary.** The article presents analysis of efficiency of biomass utilization for energy purposes and developed system of the efficiency indicators. The work gives definition of efficiency and notes that it is characterized with relative indicators, which are calculated on the base of two groups of characteristics, i.e. results and expenses.

The investigation considers the following kinds of efficiency: ecological, economic, energy, social, agrobiochemical and political. Great attention is paid to economic efficiency, which is revealed in getting of maximal benefits at minimal expenses, decreasing costs of products of energy component in the structure of expenses.

It is noted that estimation of efficiency level, determined by its criteria, is considered as one of the principal preconditions for support of efficient activity of an enterprise. Ecological-economic approach is a sufficient method to estimate biomass, used for energy needs. The method anticipates application of energy indicators instead of cost evaluation of biomass utilization. It is caused by the fact that estimation of biomass efficiency in money reveal is influenced by a set of factors, such as inflation processes, disparity of prices for agricultural products.

It is argued that most criteria of efficiency do not have quantitative estimation, and their parameters can be directly determined by qualitative indicators.

The research provides system of efficiency indicators of biomass utilization: economic, energy, ecological, social. Main methodic aspects of economic and energy estimation of production and utilization of biomass are made by comparison of two values: volume of expended total energy in crop growing (per 1 ha of a crop) and biological energy, produced by the crop. An im-

portant place is determined for a coefficient of energy efficiency.

The article grounds necessity of a complex system approach to estimation of efficiency level of agricultural biomass utilization for energy purposes.

**Key words:** efficiency, biomass, estimation, criteria of efficiency, ecological-economic approach.





## ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГОДОВОЙ ПРОГРАММЫ РЕМОНТА НА РЕЗУЛЬТАТЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА

*Роман Кузьминский, Игорь Стукалец, Андрей Татомыр*  
*Львовский национальный аграрный университет, Украина*  
*Ул. В. Великого, 1, Дубляны, Украина. E-mail: igorstukalets@gmail.com*

*Roman Kuzminskyi, Igor Stukalets, Andriy Tatomyr*  
*Lviv National Agrarian University, Ukraine*  
*Volodymyr Velykyi str., 1, Dubliany, Ukraine. E-mail: igorstukalets@gmail.com*

**Аннотация.** Приведены результаты моделирования процессов поступления и обслуживания заказов на ремонт головок блоков цилиндров двигателей ЯМЗ-236 технологическим участком с элементарной производственной структурой (количество основного оборудования всех необходимых типов равно единице) для прямой и обратной дисциплин обслуживания очереди. Установлены распределения значений показателей выполнения требований по различной гарантийной продолжительности ремонта и, соответственно, для различного резерва времени на выполнение заказов, с учетом принятой модели изменения годовых программ ремонта и, соответственно, изменения резерва производительности участка.

Установлено влияние стохастического характера формирования заказов на ремонт и изменчивости годовой программы на результаты функционирования технологических участков ремонта головок блоков цилиндров с учетом потребности соблюдения гарантийной продолжительности ремонта.

**Ключевые слова:** головки блоков цилиндров, ремонт, критерии уровня соблюдения гарантий.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Известно [1-6], что имеет место объективная нестабильность значений годовых программ ремонтных предприятий, обусловленная изменениями количества машин в зоне обслуживания и их технического состояния.

Разработана методика проектирования технологических процессов ремонта машин на основании их структурно-параметрического анализа и синтеза с использованием теории графов и расписаний [7-8], которая дает возможность получать параметрические ряды производственных структур технологических линий или участков различной производительности. Получаемый с использованием этой методики качественно новый результат проектного расчета предоставляет возможность обоснования производственной структуры технологических линий и участков с учётом прогноза изменений годовой программы ремонта.

Необходимым условием обеспечения эффективности технического сервиса является решение противоречия между стохастическим характером поступлений суточных заказов и необходимостью ритмичной работы производственных подразделений сервисных предприятий.

В соответствии с Законом Украины «О защите прав покупателей сельскохозяйственных машин» в случае, если исполнитель условий договора о выполнении работ, предоставление услуг по техническому сервису не выполняет, просрочивает выполнение работы, оказание услуги согласно договору, он за каждый день (час, если продолжительность выполнения определена в часах) просрочки уплачивает покупателю неустойку в размере трех процентов стоимости невыполненной работы или услуги, если иное не предусмотрено договором [9].

Таким образом, проблема обеспечения условий эффективной работы производственных подразделений предприятий технического сервиса в условиях нестабильности годовых программ ремонта и стохастического характера поступлений суточных заказов усугубляется требованиями соблюдения гарантийной продолжительности ремонта.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

На основании структурно-параметрического анализа и синтеза процессов ремонта головок блоков цилиндров двигателей ЯМЗ обоснованы параметрические ряды технологических участков, определяющие для каждого участка производственную структуру, оптимальную и максимальную производительность, возможность применения различных схем технологического процесса – прямой (ПР), частично разветвленной (ЧР) и разветвленной (Р); а также затраты на ремонт в случае применения каждой из схем [3, 6, 7].

Для описания изменения годовой программы ремонта предложена модель (рис. 1):

при  $1 \leq t \leq t_{cp}$

$$f(P, t) = (2a + 1) \cdot (1 - P \cdot q_1)^{2a} \cdot q_2(t), \quad (1)$$

где:  $q_1(t) = \left(\frac{t_{cp} - t}{t_{cp} - 1}\right)^k, k > 0; q_2(t) = \frac{q_1(t)}{1 - (1 - q_1(t))^{2a+1}};$

$$q_2(t_{cp}) = \lim_{t \rightarrow t_{cp}} \frac{q_1(t)}{1 - (1 - q_1(t))^{2a+1}} = \frac{1}{2a + 1}, a > 0;$$

при  $t_{cp} < t \leq t_{max}$

$$f(t, P) = (2a + 1) \cdot (1 - q_3 + P \cdot q_3)^{2a} \cdot q_4(t), \quad (2)$$

где:  $q_3(t) = \left(\frac{t - t_{cp}}{t_{cp}}\right)^k, k > 0; q_4(t) = \frac{q_3(t)}{1 - (1 - q_3(t))^{2a+1}};$

$$q_4(t_{cp}) = \frac{1}{2a + 1}, a > 0.$$

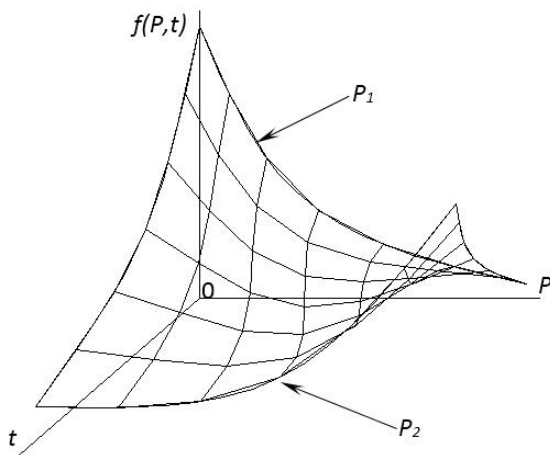


Рис. 1. Модель динамики изменения годовых программ ремонта во времени

Fig. 1. The model of the change dynamics of the annual repair programs in time

Известны общие закономерности изменений математического ожидания  $M[\delta_i]$  и коэффициента вариации  $v[\delta_i]$  суточной партии заказов  $\delta_i$  с изменением годовой программы ремонта  $W_r$  (рис. 2) [3].

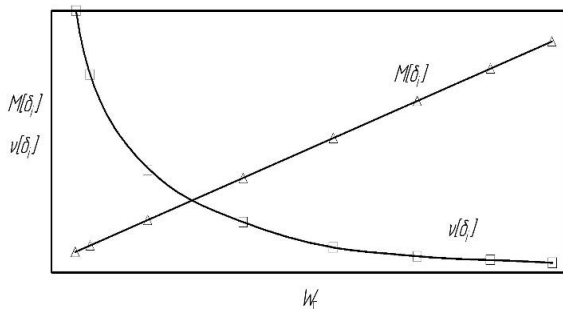


Рис. 2. Закономерности формирования заказов на ремонт

Fig. 2. Regularities of formation of the repair orders

Обоснованы факторы соблюдения гарантийной продолжительности необоснованного ремонта [10]: создание резерва производительности, оцениваемое

показателем  $\rho_N = W_r / Q_r$ ; использование временного резервирования, которое оценивается показателем  $\rho_r = T_r / M[T_{r.п.}]$ ; изменение очередности обслуживания заказов (прямая дисциплина обслуживания – FIFO, обратная дисциплина обслуживания – LIFO), где  $Q_r$  – годовая производительность, ед.;  $M[T_{r.п.}]$  – математическое ожидание продолжительности технологического процесса ремонта, суток. В качестве критериев соблюдения гарантийной продолжительности ремонта приняты [10-14]: коэффициент выполнения требований по гарантийной продолжительности ремонта  $\xi_{5N} = W_N / W_r$ , средняя продолжительность сверхгарантийных простоев  $\theta = \Sigma \theta_j / W_\theta$ , где  $W_N$  – количество заказов, выполненных с соблюдением гарантийной продолжительности ремонта;  $W_\theta = W_r - W_N$  – количество заказов, для которых гарантийная продолжительность ремонта была превышена.

Изучены общие закономерности влияния временного резервирования и резервирования производительностью на уровень выполнения требований по гарантийной продолжительности ремонта для входящих потоков заказов различной равномерности [15-20].

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Задачей исследования было установить, как влияет изменчивость годовой программы ремонта и соответствующие изменения стохастического характера суточных поступлений заказов на ремонт на результаты функционирования технологических участков ремонта головок блоков цилиндров двигателей ЯМЗ с учетом необходимости соблюдения различной гарантийной продолжительности их ремонта.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Анализируя статистические данные поступления заказов одного из предприятий, которое специализируется на ремонте головок блоков цилиндров, можно утверждать, что количество головок блоков цилиндров двигателей ЯМЗ-236, которые поступили в ремонт в период с 2004 г. до 2014 г. увеличивалось, как и общая годовая программа  $W_r$  предприятия (рис. 3).

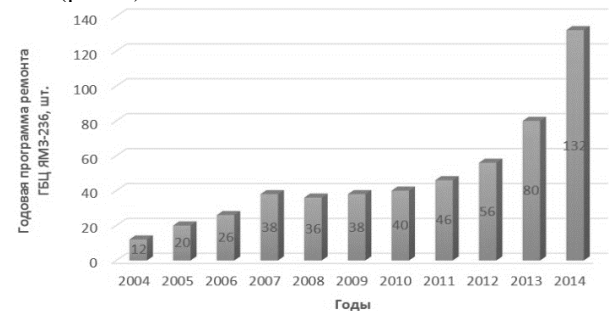


Рис. 3. Изменение годовых программ ремонта головок блоков цилиндров двигателей ЯМЗ-236

Fig. 3. Changing the annual programs of repair cylinder blocks heads of the engines YaMZ-236.

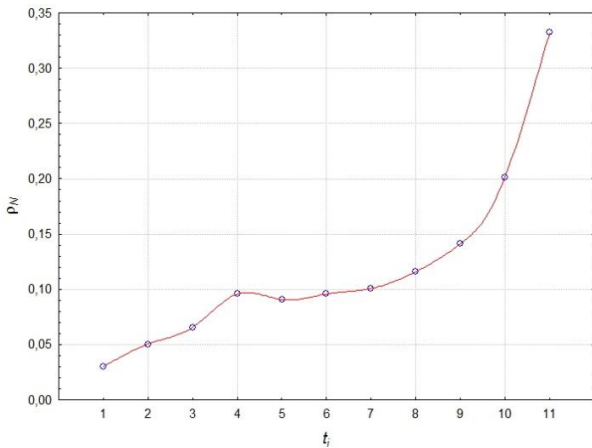
**Таблица 1.** Структура технологического участка ремонта головок блоков цилиндров двигателей ЯМЗ-236 с элементарной производственной структурой

**Table 1.** The structure of the technological station of repair cylinder blocks heads of the engines YaMZ-236 with the elementary production structure

Производи- тельность $Q$ , шт.	Фронт ремонта $f$ , ед.	Количество рабочих $u$ , чел.	Технологиче- ские схемы (ТС)	Количество оборудования различных типов														Затраты $Z^*$ , грн.
				$K_{r1}$	$K_{r2}$	$K_{r3}$	$K_{r4}$	$K_{r5}$	$K_{r7}$	$K_{r8}$	$K_{r9}$	$K_{r10}$	$K_{r11}$	$K_{r12}$	$K_{r13}$	$K_{r14}$		
397	1	1	ПР	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	94460
402	1	2	Р															27610
432	2	2	ПР															228095

Для реализации процесса ремонта головок бло-  
 ков цилиндров двигателей ЯМЗ-236 заданной годо-  
 вой программы был синтезирован параметрический  
 ряд технологических участков ремонта, из которого  
 выделен первый технологический участок (табл. 1).

Показатель резервирования производительности  
 для заданного периода составлял для разных  
 годов от  $\rho_N=0,03$  до  $\rho_N=0,33$  (рис. 4).



**Рис. 4.** Динамика изменения показателя резер-  
 вирования производительностью

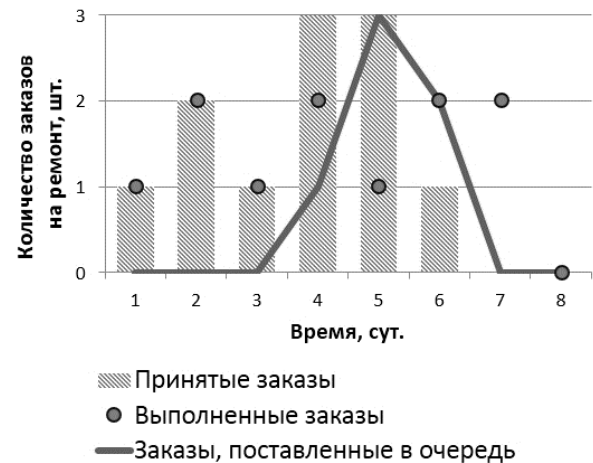
**Fig. 4.** The dynamics of the change in the backup  
 performance

Процесс моделирования состоял во-первых, в  
 генерации случайного потока заказов в соответствии  
 со значениями  $M[\delta_i]$  и  $v[\delta_i]$ , получаемыми из регрес-  
 сионных зависимостей (рис. 2) с учетом модели из-  
 менения  $W_t$ ; во-вторых, в определении суточных  
 производительностей  $q_i$  в соответствии с парамет-  
 рическим рядом (табл. 1); в-третьих, определении  
 количества заказов, выполненных своевременно, и  
 затрат на их выполнение для выбранной схемы про-  
 цесса ремонта или формирования очереди заказов.

В процессе моделирования было установлено,  
 что годовые затраты предприятия непостоянны для  
 разных итераций. Это обусловлено тем, что заказы  
 на временной оси распределяются случайным обра-  
 зом, создавая «скопления» и «разрежения» (рис. 5).  
 В связи с этим возникает необходимость учитывать  
 стохастический эффект путем усреднения функцио-  
 нальных показателей эффективности производи-  
 тельного процесса ремонта.

Установлены закономерности распределения  
 значений коэффициента соблюдения гарантийной

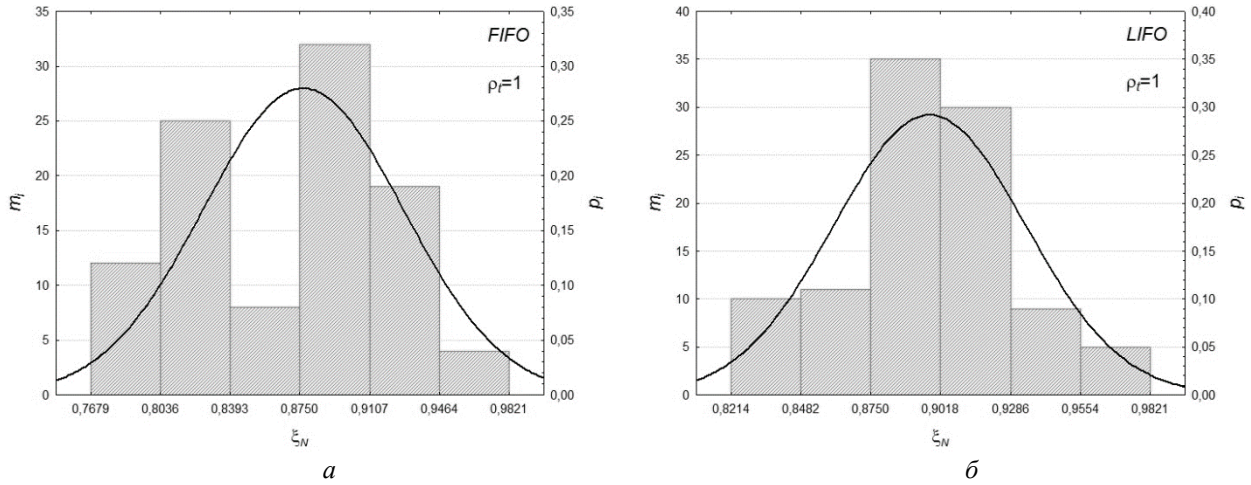
продолжительности ремонта  $\xi_N$  и средней продол-  
 жительности сверхгарантийных простоев  $\bar{\theta}$  для  
 прямой (*FIFO*) и обратной (*LIFO*) очередности об-  
 служивания заказов. Для значений  $\xi_N$  можно при-  
 нять нормальный закон (рис. 6); для значений  $\bar{\theta}$   
 можно принять распределение по экстремальному  
 закону (рис. 7). Результатами моделирования уста-  
 новлены параметры распределений показателей со-  
 блюдения гарантий продолжительности ремонта  
 $M[\xi_N]$ ,  $v[\xi_N]$ ,  $M[\bar{\theta}]$ ,  $v[\bar{\theta}]$ .



**Рис. 5.** Распределение на временной оси по-  
 ступлений заказов на ремонт, их обслуживания и  
 формирования очереди заказов (фрагмент результа-  
 та моделирования)

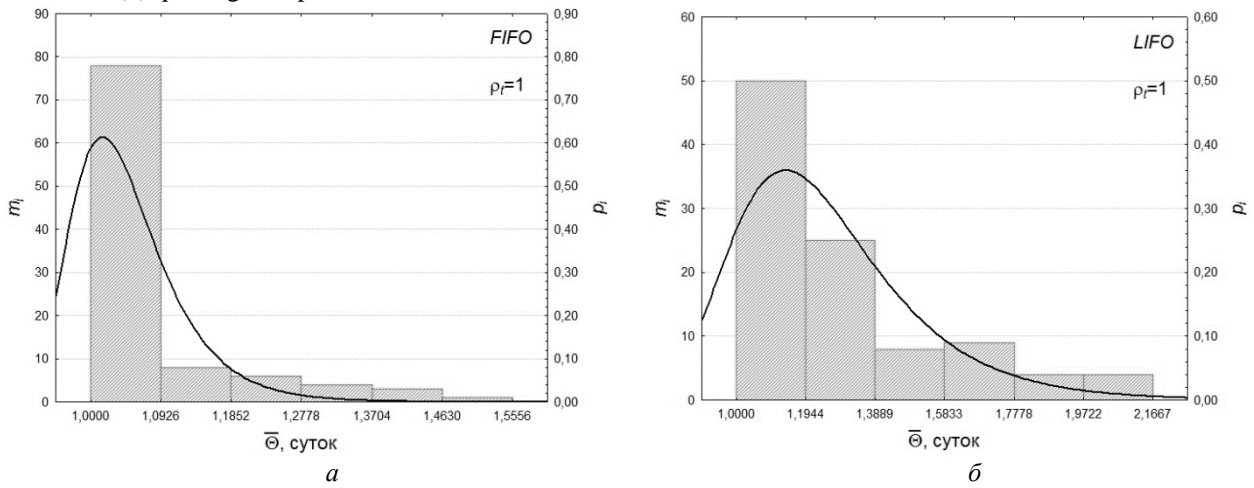
**Fig. 5.** Distribution of income on a time axis of or-  
 ders for repairs and maintenance queuing orders (frag-  
 ment of simulation result)

Для заданного значения коэффициента времен-  
 ного резервирования  $\rho=1$  рассчитаны значения  
 $M[\xi_N]$  и  $M[\bar{\theta}]$  для разных годов. Таким образом,  
 установлено, что с увеличением годовой программы  
 ремонта (загрузкой технологической линии по про-  
 изводительности) значение  $M[\xi_N]$  уменьшается;  
 причем, для больших значений годовой программы  
 значение  $M[\xi_N]$  для прямой очереди выполнения за-  
 казов ниже, по сравнению с обратной очередью  
 (рис. 8, а). Так, например, для максимального значе-  
 ния годовой программы  $W_t=132$  шт., для прямой  
 очередности  $M[\xi_N]=0,64$ , для обратной –  $M[\xi_N]=0,78$ .



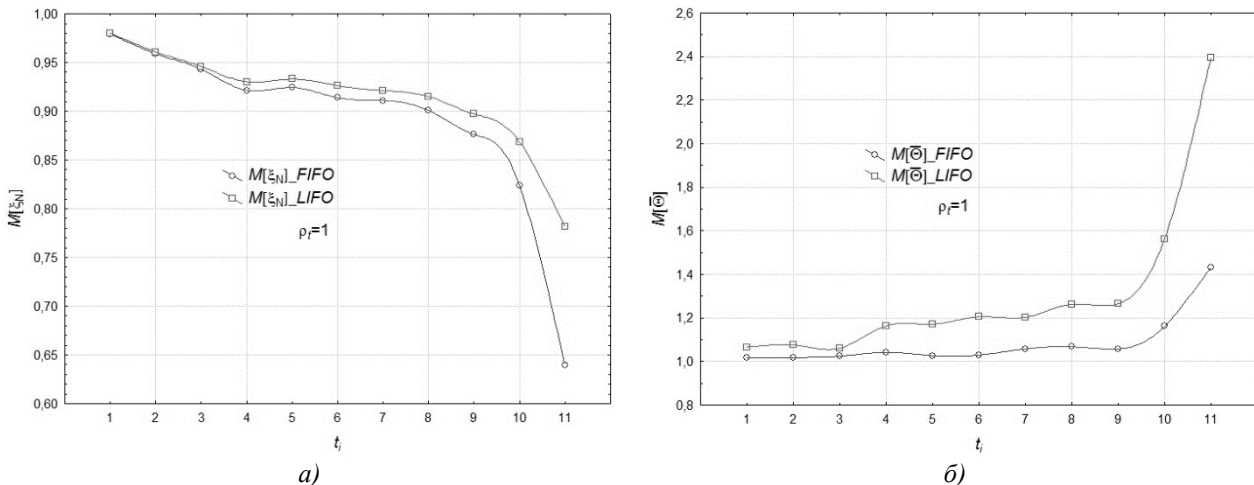
**Рис. 6.** Распределения значений коэффициента выполнения требований по гарантийной продолжительности ремонта для прямой (а) и обратной (б) дисциплин обслуживания очереди.

**Fig. 6.** Distribution coefficient values meet the requirements for the duration of the warranty repair for direct (a) and return (b) queuing disciplines



**Рис. 7.** Распределение средней продолжительности сверхгарантийных простоев

**Fig. 7.** Distribution of the average duration of outages over warranty



**Рис. 8.** Сравнение прямой и обратной очередности выполнения заказов

**Fig. 8.** Comparison of direct and inverse order of orders execution

Соответствующие значения были получены и для значений  $M[\bar{\theta}]$  (рис. 8, б). С увеличением загрузки технологической линии по производительности значение  $M[\bar{\theta}]$  возрастает и для обратной оче-

редности выполнения заказов на ремонт имеет большие значения по сравнению с прямой очередностью. Например, для рабочей программы  $W_T =$

132 шт., для прямой очередности  $M[\bar{\theta}] = 1,43$  сутки, для обратной –  $M[\bar{\theta}] = 2,4$  сутки.

С использованием статистического анализа результатов моделирования получены линии уровней значений  $M[\xi_N]$  и  $M[\bar{\theta}]$  для различных значений показателей резервирования  $\rho_N$  и  $\rho_I$  для прямой и обратной очередности выполнения заказов на ремонт (рис. 9, 10).

Увеличение временного резервирования и уменьшение загрузки технологической линии по производительности приводит к увеличению значения  $M[\xi_N]$ , но эта зависимость является нелинейной. Кроме того, для обратной очередности выполнения заказов на ремонт получаем большие значения  $M[\xi_N]$  при тех же  $\rho_N$  и  $\rho_I$ . Например, для  $\rho_N = 0,3$ ,  $\rho_I = 2$  для прямой очередности  $M[\xi_N] = 0,85$ , для обратной –  $M[\xi_N] = 0,86$ .

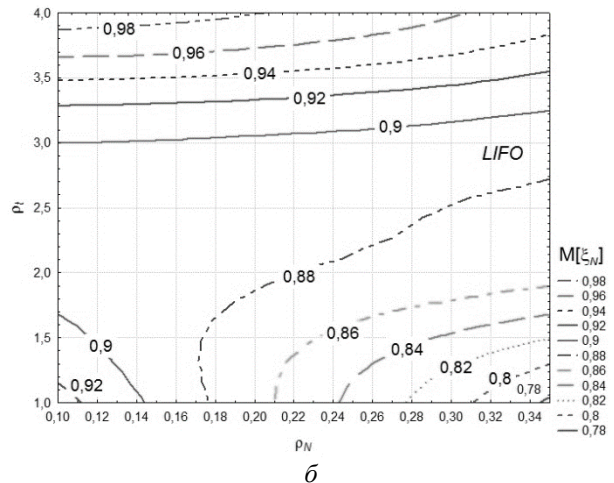
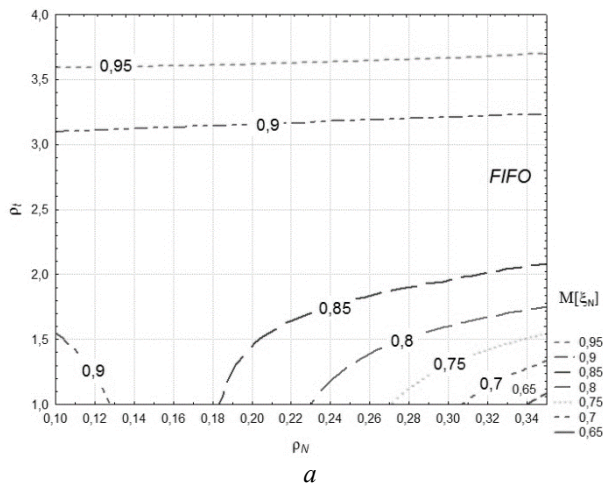
Зависимость математического ожидания средней продолжительности сверхгарантийных простоев  $M[\bar{\theta}]$  от показателей резервирования значений показателей резервирования  $\rho_N$  и  $\rho_I$  также имеет нелинейный характер. Кроме того, для обратной очередности  $M[\bar{\theta}]$  приобретает более высокие значения по сравнению с прямой очередностью. Например, для

$\rho_N = 0,3$ ,  $\rho_I = 2$  для прямой очередности  $M[\bar{\theta}] = 1,38$  суток, для обратной –  $M[\bar{\theta}] = 2,9$  суток.

Поскольку полученные значения  $M[\xi_N] < 1$  и  $M[\bar{\theta}] > 1$ , то в соответствии с Законом Украины [9] следует считать с необходимостью компенсации за несвоевременное выполнение заказов на ремонт.

С помощью разработанного алгоритма рассчитывалась часть расходов  $Z$ , связанных с возмещением заказчиком денежных средств за несвоевременно выполненные заказы.

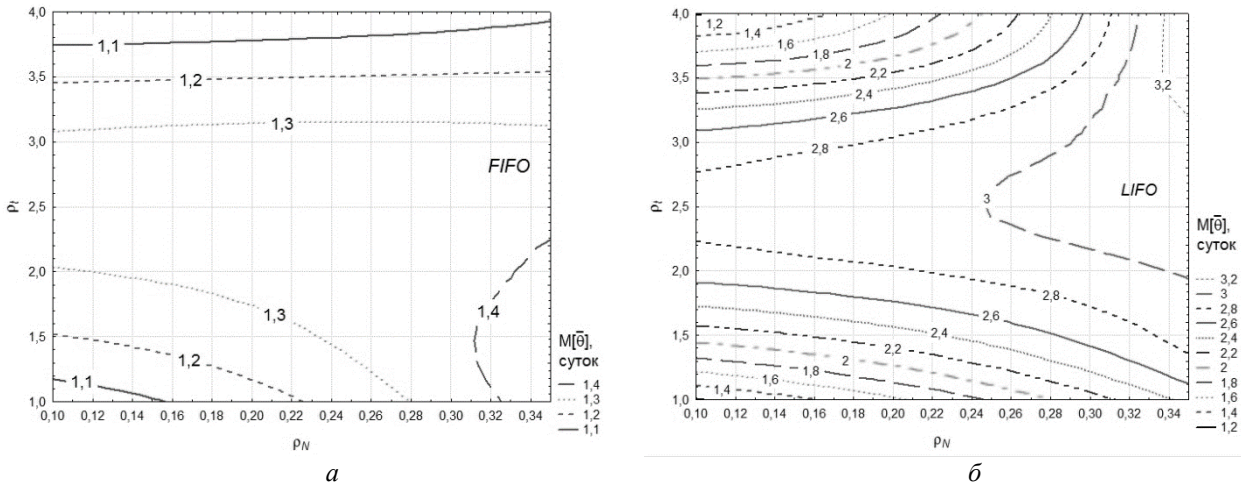
Соответствующие линии уровней получены для значений  $M[Z]$  для разных значений показателей резервирования  $\rho_N$  и  $\rho_I$ . Анализ зависимостей показывает, что прямая очередность обслуживания заказов позволит сократить размер штрафов за несвоевременно выполненные заказы при одинаковых значениях  $\rho_N$  и  $\rho_I$  для прямой и обратной очередностей выполнения заказов. При этом, следует заметить, что минимальные размеры штрафов можно достичь путем увеличения временного резерва ( $\rho > 3$ ), что соответствует  $T_1 = 3$  суток. Если уровень загрузки по производительности невысок ( $\rho_N < 0,18$ ), то тогда можно принять  $T_1 = 1 \dots 2$  суток (рис. 11).



**Рис. 9.** Линии уровней значений  $M[\xi_N]$  для различных значений показателей резервирования  $\rho_N$  и  $\rho_I$  для прямой и обратной очередности выполнения заказов

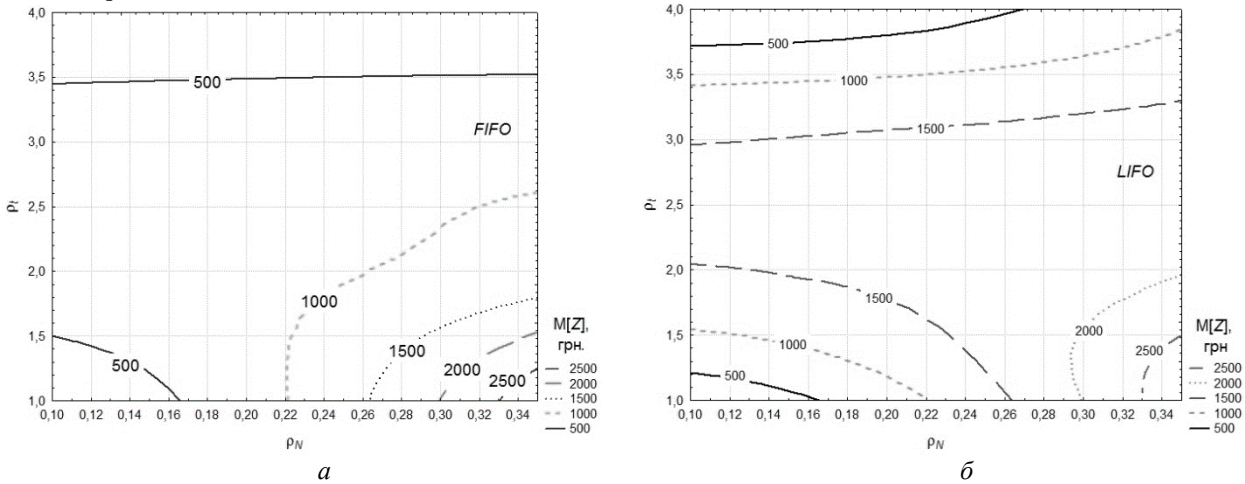
**Fig. 9.** Contour lines values of  $M[\xi_N]$  for different values of reservation  $\rho_N$  and  $\rho_I$  parameters for forward and reverse sequence of orders





**Рис. 10.** Линии уровней значений  $M[\bar{\theta}]$  для различных значений показателей резервирования  $\rho_N$  и  $\rho_t$  для прямой и обратной очередности выполнения заказов

**Fig. 10.** Contour lines values of  $M[\bar{\theta}]$  for different values of reservation  $\rho_N$  and  $\rho_t$  parameters for forward and reverse sequence of orders



**Рис. 11.** Линии уровней значений  $M[Z]$  для различных значений показателей резервирования  $\rho_N$  и  $\rho_t$  для прямой и обратной очередности выполнения заказов

**Fig. 11.** Contour lines values of  $M[Z]$  for different values of reservation  $\rho_N$  and  $\rho_t$  parameters for forward and reverse sequence of orders

**ВЫВОДЫ**

1. В работе подтверждено, что влияние на результаты функционирования предприятий технического сервиса, в частности на соблюдение гарантийной продолжительности ремонта, возможен тремя факторами: резервом производительностью, временным резервом и очередностью выполнения заказов на ремонт.

2. Поскольку резервирование производительностью обусловлено объективным фактором - изменчивостью поступления заказов, то фактором, которым предприятие может оперировать при заключении договоров с заказчиком, является временной резерв. Вторым фактором, которым предприятие оперирует при выполнении заказов на ремонт – это очередность выполнения заказов.

3. Установлено, что обратная очередность выполнения заказов позволяет повысить значение коэффициента соблюдения гарантийной продолжительности ремонта, при одновременном увеличении

средней продолжительности сверхгарантийных простоев.

4. По условиям компенсации, предусмотренной Законом Украины, целесообразно использовать прямую очередность выполнения заказов на ремонт. Поскольку, прямая очередность выполнения заказов на ремонт головок блоков цилиндров двигателей позволит уменьшить расходы на выплату штрафов за несвоевременно выполненные заказы по сравнению с обратной очередностью.

5. На основании проведенных исследований можно обосновать приемлемую для предприятий технического сервиса и заказчиков гарантийную продолжительность ремонта.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. **Кузьминский Р. Д. 2008.** Модель прогнозирования динамики изменения программы ремонтных предприятий. Вестник Львовского нац. аграрного университета: Агроинженерные исследования. – № 12. – Т. 1. – Львов, – С. 45 – 51. (Украина).

2. **Кузьминский Р. 2013.** Совершенствование модели прогнозирования программ ремонта машин, их узлов и агрегатов с использованием несимметрических распределений. MOTROL: Motoryzacja i energetyka rolnictwa. – Lublin, Vol. 15, No. 6. –167–171.
3. **Сидорчук А. В., Кузьминский Р. Д., Барабаш Р. И.** Закономерности количественных и качественных изменений поступлений заказов на ремонт агрегатов. Техничко-технологические аспекты развития и испытания новой техники и технологий для сельского хозяйства Украины: Сб. науч. тр. УкрНИИПИТ им. Л. Погорелого. – Вып. 10 (24), кн. 1. –69–76. (Украина).
4. **Кузьминский Р. 2007.** Алгоритм и программное обеспечение моделирования выполнения заказов предприятиями технического сервиса с соблюдением гарантийной продолжительности ремонта. Ученые Львовского государственного аграрного университета - производству: Каталог наук, разработок. – Вып. 7. – Львов: Львов, гос. аграрн. ун-т. – 64–65.
5. **Кузьминский Р. Д., Кульчицкий-Жигайло Р. Д., Якивчик В. Б. 1993.** Зависимость параметров входных потоков заказов на ремонт от годовой программы мастерской. Надежность и ремонт машин в сельском хозяйстве: Сб. науч. пр. – Львов Львов. гос. сельскохозяйственный ин-т, – 39–42. (Украина).
6. **Кузьминский Р. 2012.** Обоснование годовой программы ремонта агрегатов по результатам структурно-параметрической и функциональной оптимизации технологических процессов. MOTROL: Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin, – Vol. 14, No. 4. – 54–63. (Украина).
7. **Кузьминский Р. Д. 1991.** Проектирование разборочно-сборочного оборудования для ремонтных предприятий. Организационно-технологическая взаимодействие предприятий АПК в процессе ремонта сельскохозяйственной техники: Сб. науч. тр. Львов. СГИ. – Львов, – 19–38. (Украина).
8. **Кузьминский Р. 2005.** Структура, параметры и эффективность технологических процессов ремонта. Вестник ЛДАУ: Агроинженерные исследования. – Львов, – № 9. – 50–60. (Украина).
9. Закон Украины «О защите прав покупателей сельскохозяйственных машин» / Ведомости Верховной Рады Украины, №38, 2003. – 315. (Украина).
10. **Кузьминский Р. Д. 1997.** Сравнение способов гарантийного соблюдения требований по продолжительности необособленного ремонта агрегатов. Вестн. Львов. гос. аграр. ун-та: Агроинженерные исследования. – № 1. – 80–89. (Украина).
11. **Кузьминский Р. Д. 2007.** Условия соблюдения гарантийной продолжительности необособленного ремонта агрегатов. Общегосударственный межведомственный научно-технический сборник. Конструирование, производство и эксплуатация сельскохозяйственных машин / КНТУ, Кировоград, – Вып. 37. – 205–212. (Украина).
12. **Семкович А. Д., Кузьминский Р. Д., Якимив О. Я. 1996.** Влияние объемов и структуры компенсирующего запаса и обменного фонда на эффективность работы ремонтного предприятия. Механизированные процессы сельскохозяйственного производства: Сб. науч. работ. – Львов: Львов. гос. сельскохозяйственный ин-т, – 24–30. (Украина).
13. **Семкович А. Д., Кузьминский Р. Д., Якимив О. Я. 1996.** Влияние компенсирующего запаса на удовлетворение требований к темпам ремонта. Актуальные проблемы медицины, биологии, ветеринарии и сельского хозяйства (Книга наук. Статей / Львов. Гос. Мед. Ин-т), Львов: Вече, – 179–183. (Украина).
14. **Кузьминский Р. 2008.** Обоснование оптимальных условий соблюдения гарантийной продолжительности необособленного ремонта агрегатов трансмиссии мобильной техники земледелия. Экологические, технологические и социально-экономические аспекты использования материально-технической базы АПК: Материалы междунар. научно-практической. форума 17-18 сентября 2008 – Львов: Львов. нац. агро-университет, – 390–401. (Украина).
15. **Кузьминский Р. Д., Стукалец И. Г. 2010.** К методике синтеза параметрических рядов технологических участков ремонта головок блоков цилиндров двигателей ЯМЗ. Вестник Львовского национального аграрного университета: Агроинженерные исследования. – №14. – 332–339. (Украина).
16. **Кузьминский Р. Д. 1997.** Обоснование оптимального соотношения между объемом обменного фонда и резервом производительности специализированной ремонтной мастерской. Вестн. Львов. гос. аграр. ун-та: Агроинженерные исследования. – №1. – 73–79. (Украина).
17. **Кузьминский Р. Д. 1999.** Влияние временного резервирования на своевременность ремонта агрегатов для входящих потоков различной равномерности. Сб. науч. пр. НАУ «Механизация сельскохозяйственного производства». – Т. 5. «Современные проблемы механизации сельского хозяйства». – К.: НАУ, – 309–312. (Украина).
18. **Кузьминский Р. Д., Якимив О. Я. 1996** Обоснование объемов обменных фондов агрегатно-ремонтных предприятий. Актуальные проблемы медицины, биологии, ветеринарии и сельского хозяйства (Книга наук. Статей / Львов. Гос. мед. ин-т), Львов: Вече, – 174–176. (Украина).
19. **Семкович А., Кузьминский Р. 1998.** Обеспечение экологичности производственных систем своевременным ремонтом их элементов. Труды НОШ. – Т. II в. – Материаловедение, Химия, медицина, экология, экотехнологии. – Львов, – 680–687. (Украина).

20. Семкович А. Д., Кузьминский Р. Д., Чухрай В. Е., Олискевич М. С. 2001. Становление и развитие теории ремонтно-восстановительных процессов. Вестник аграрной науки. – Специальный выпуск, сентябрь. – 90–96. (Украина).

INFLUENCE OF VARIATION ANNUAL PROGRAM REPAIR ON THE RESULTS OF THE COMPANIES TECHNICAL SERVICE OPERATION

**Summary.** The results of the modeling process admission and service to repair orders cylinder heads YaMZ-236 on the technological station with the elementary production structure (the number of the basic equipment of all types needed is equal to one) for for-

ward and backward queuing disciplines are given. Distribution values of the indicators meet the requirements of various warranty repair time and, consequently, for different reserve time to complete orders, taking into account the changes in the model adopted annual program of repair and, therefore, changes in reserve performance of the station are established.

The influence of the stochastic nature of the formation of orders for repairs and variability of the annual program on the results of the technological stations of repair cylinder heads operation with the requirements of compliance warranty repair time is established.

**Key words:** cylinder head, repair, criteria level safeguards.



## АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВИБРОРОТОРНОЙ ДРОБИЛКИ

*Игорь Паламарчук, Виталий Янович, Игорь Купчук*

*Винницкий национальный аграрный университет*

*Ул. Сонячна, 3, Винница, Украина. E-mail: kupchuk.igor@mail.ru*

*Palamarchuk Igor, Yanovich Vitaliy, Kupchuk Igor*

*Vinnitsia national agrarian university*

*Soniachna St., 3, Vinnytsia, Ukraine. E-mail: kupchuk.igor@mail.ru*

**Аннотация.** В статье приведена принципиальная схема вибророторной дробилки для измельчения зернового крахмалосодержащего сырья спиртового производства, которая реализует идею комбинированного взаимодействия вибрационного и вращательного движения исполнительного органа, сочетание ударного и режущего воздействия рабочих элементов на обрабатываемый материал, что позволяет обрабатывать как кондиционное сырье так и сырье с повышенным содержанием влаги без значительного уменьшения пропускной способности оборудования и обеспечить своевременное выведение продукта из зоны измельчения.

На основе теоретических исследований динамической модели вибророторной дробилки, было получено графические зависимости и установлены оптимальные параметры ее работы при минимальных энергетических затратах.

**Ключевые слова:** вибропривод, динамика движения, кинематический привод, измельчение, вибророторная дробилка.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Спиртовая промышленность тесно связана, с одной стороны, с многочисленными отраслями народного хозяйства, для которых спирт является сырьем, основным и вспомогательным материалом, с другой - с сельским хозяйством, которое обеспечивает данное производство растительным сырьем и получает взамен изъятые из него белковые витаминизированные корма. Она является единственной отраслью промышленности, способной превращать дефектное крахмалосодержащее сырье в доброкачественные продукты [1].

Среди механических процессов в производстве спирта одним из важнейших этапов отмечают измельчения, поскольку от показателей качества исходного сырья, в частности дисперсности материала, зависит энергоёмкость дальнейшей обработки [1, 2]. Однако, указанный процесс характеризуется значительной энергоёмкостью, что в свою очередь отражается на повышении себестоимости готовой продукции [3-5].

Поэтому актуальным является поиск путей снижения энергетических затрат на указанный процесс при достижении необходимых качественных показателей конечного продукта.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Известно достаточно много разнообразных схем переработки зернового крахмалосодержащего сырья, в спирт.

Так, для получения этанола и другого целевого продукта на современных предприятиях западной Европы и США применяют "мокрую" схему, суть которой заключается в измельчении молотковыми дробилками зерна, поступившего после операции замачивания, с последующим выделением крахмала, глютенa, зародыша и клетчатки в водной среде [5-7]. Для Украины же, характерно «сухое» измельчение с предыдущим обезвоживанием материала.

Однако в обоих случаях, при течении указанного процесса возникает ряд проблем. Так, при измельчении предварительно замоченного продукта имеют место значительные энергетические затраты, поскольку при повышении влажности и температуры разрушающее усилие сжатия снижается, что указывает на постепенное увеличение пластичности зерна и уменьшения его хрупкости, с одновременным повышением абсолютной деформации, которую зерно выдерживает до разрушения, в результате чего сопротивление зерна измельчению растёт, кроме того в результате увеличения адгезионных сил происходит забивание сепарационной поверхности, что приводит к несвоевременному выводу продукта из зоны измельчения [1, 8-10]. Предварительное обезвоживание, по «сухой» схеме переработки, значительно увеличивает удельные энергетические затраты на единицу готовой продукции.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

На основе проведенного анализа технологических процессов [1, 3, 4, 11-13,] и конструктивных схем существующего оборудования [1, 5, 14-16] для реализации процесса измельчения сыпучих масс, нами предлагается более эффективный способ измельчения зернового сырья спиртового производства, сущность которого заключается в разработке принципиально новой схемы дробилки, которая могла бы реализовать сочетание ударного и режущего воздействия рабочих элементов на обрабатываемый материал, что позволит обрабатывать как кондиционное сырье так и сырье с повышенным содержанием влаги без значительного уменьше-

ния пропускной способности оборудования и обеспечить своевременное выведение продукта из зоны измельчения, тем самым нивелируя чрезмерную циркуляцию воздушно-продуктового слоя, а как следствие уменьшить удельные энергетические затраты на указанную обработку [17].

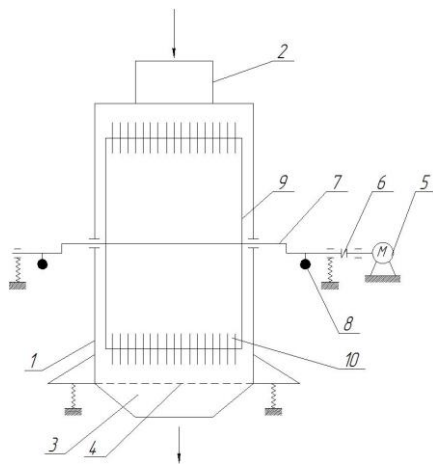
Однако, для достижения высоких показателей эффективности процесса, необходимо выполнить теоретическое исследование динамики исполнительного органа разработанного оборудования, и обосновать оптимальные параметры для эффективного рабочего режима.

#### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

На рис.1 представлена принципиальная схема разработанной вибророторной дробилки, для реализации данного способа [1, 17-19].

При включении электродвигателя 5 крутящий момент через эластичную муфту 6, передается на кинематический вал 7 с противовесами 8, вращение которого приводит к созданию комбинированной силовой и моментной неуравновешенности размещенного на нем ротора 9 из дисковидными элементами. Обрабатываемый материал непрерывно поступает через загрузочную горловину 2 и измельчается в результате вращающегося и колеблющегося движения дисковидных бичей 10.

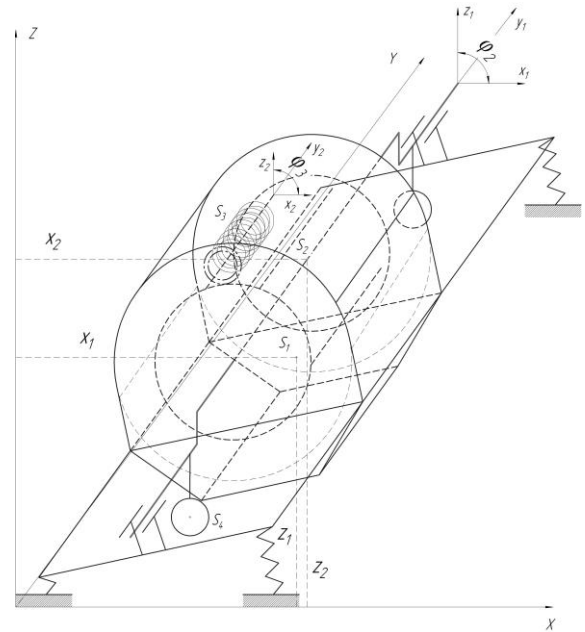
С уменьшением размеров частиц измельченный материал под действием центробежных сил и знакопеременных нагрузок через ситовую поверхность подвергается интенсивной классификации: частицы равные или меньше диаметра отверстий сита 4 выгружаются через горловину 3, остальные - на повторное измельчение [1, 14, 20].



**Рис. 1.** Принципиальная схема вибророторной дробилки: 1 – корпус; 2, 3 – загрузочная и разгрузочная горловины; 4 – сепарационная поверхность; 5 – электродвигатель; 6 – муфта эластичная; 7 – кинематический вал; 8 – противовес; 9 – ротор; 10 – дисковые элементы

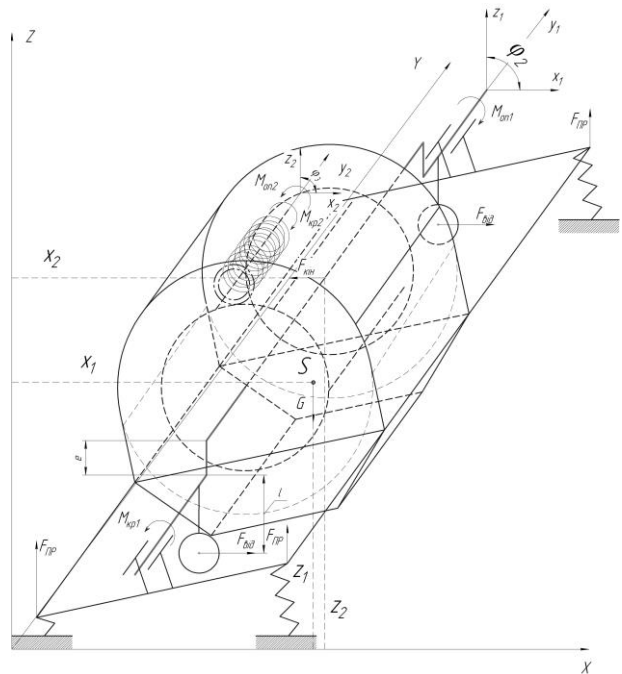
**Fig. 1.** The principal scheme of vibration-rotor mill: 1 – frame; 2, 3 – loading and unloading channels; 4 – separation surface; 5 – electromotor; 6 – elastic coupling; 7 – kinematically shaft; 8 – counterweight; 9 – rotor; 10 – disk type elements

Для составления уравнений в соответствии с принятыми предположениями принимаем систему координат XYZ с подвижными системами координат  $x_1y_1z_1$  и  $x_2y_2z_2$ , к которой по правилу суперпозиции вносим схему исследуемой машины (рис. 2, 3).



**Рис. 2.** Расчетная схема кинематического анализа модели вибророторной дробилки

**Fig. 2.** The estimated scheme of kinematically analysis of vibration-rotor mill model



**Рис. 3.** Расчетная схема силового анализа модели вибророторной дробилки

**Fig. 3.** The estimated scheme of power analysis of vibration-rotor mill model

Исследуемую вибросистему можно представить математической моделью с семью степенями свободы:

$x_1, z_1$  – линейные перемещения центра масс корпуса вдоль осей  $OX, OZ$ ;

$x_2, z_2$  – линейные перемещения центра масс ротора вдоль осей  $OX, OZ$ ;

$\phi_2$  – угловое перемещение ротора относительно оси  $o_1y_1$ ;

$\phi_3$  – угловое перемещение рабочего диска относительно оси  $o_2y_2$ .

В исследуемой вибросистеме можно выделить четыре характерные массы в общей массе  $m$  (1):

$$m = m_1 + m_2 + m_3 + m_4 \quad (1)$$

$$\begin{cases} m_1 = m_K + m_{зав} \cdot \mu + m_{o.p} + m_{н.в.}, \\ m_2 = m_{нр.в.} + m_{н.д} + m_e + m_{o.д} + m_{д.о} + m_M, \\ m_3 = m_{р.д}, \\ m_4 = m_{д}. \end{cases} \quad (2)$$

где:  $m_K$  – масса корпуса;  $m_{зав}$  – масса загрузки;  $\mu$  – коэффициент присоединенной массы загрузки;  $m_{o.p}$  – масса опорной рамы;  $m_{н.в.}$  – масса подшипниковых узлов;  $m_M$  – масса муфты;  $m_{р.д}$  – масса рабочих дисков;  $m_{д}$  – масса дисбалансов;  $m_{нр.в.}$  – масса приводного вала;  $m_{н.д}$  – масса промежуточных дисков;  $m_e$  – масса эксцентриковых вариативных механизмов;  $m_{o.д}$  – масса опорных дисков;  $m_{д.о}$  – масса дисковых осей.

Для определения кинетической энергии системы исследуемый механизм разбиваем на элементарные составляющие – звенья и проводим их кинетический анализ на основе которого получаем общее выражение:

$$\begin{aligned} T = & \frac{1}{2} m_1 [\dot{x}_1^2 + \dot{z}_1^2] + \frac{1}{2} m_2 [(e \cdot \dot{\phi}_2)^2 + (x_1^2 + z_1^2) \cdot \dot{\phi}_2 + \\ & + 2 \cdot e \cdot \dot{\phi}_2 \cdot x_1] + \frac{1}{2} m_3 [(r_{д} \cdot \dot{\phi}_3 \cdot ku)^2 + \\ & + (r \cdot \dot{\phi}_2)^2 + (x_1^2 + z_1^2) \cdot \dot{\phi}_2 + 2(r \cdot \dot{\phi}_2) x_1 - \\ & - 2(r_{д} \cdot \dot{\phi}_3 \cdot ku)(2x_1 + r \cdot \dot{\phi}_2)] + \frac{1}{2} m_4 [(l \cdot \dot{\phi}_2)^2 + \\ & + (x_1^2 + z_1^2) \cdot \dot{\phi}_2 + 2 \cdot l \cdot \dot{\phi}_2 \cdot x_1] + \\ & + \frac{1}{2} [(I_2 \dot{\phi}_2^2) + (I_3 \dot{\phi}_3^2 ku) + (I_3 \dot{\phi}_2^2) + (I_4 \dot{\phi}_2^2)], \end{aligned} \quad (3)$$

где:  $I_1$  – момент инерции массы  $m_1$  относительно оси  $OY$ ;  $I_2$  – момент инерции массы  $m_2$  относительно оси  $o_1y_1$ ;  $I_3$  – момент инерции массы  $m_3$  относительно оси  $o_2y_2$ ;  $I_4$  – момент инерции массы  $m_4$  относительно оси  $OY$ ;  $ku$  – коэффициент передачи крутящего момента;  $\dot{x}_1, \dot{z}_1$  – скорость ц.м. контейнера относительно оси  $OX$  та  $OZ$ ;  $e$  – расстояние от ц.м. к относительной оси  $o_1y_1$ ;  $\dot{\phi}_2$  – угловая скорость ротора;  $r_{д}$  – радиус робочего диска;  $\dot{\phi}_3$  – угловая скорость робочего диска;  $ku$  – коэффициент передачи крутящего момента;  $r_{o.д}$  – радиус опорного диска;  $r$  – рас-

стояние от кромки рабочего диска к оси вращения  $o_1y_1$ ;  $l$  – расстояние от ц.м. к относительной оси  $o_1y_1$ .

Для оценки закономерностей движения исполнительного органа исследуемого оборудования по каждой из независимых координат составляем уравнения Лагранжа II рода. Подставляя значения производных, обобщающих сил системы, в систему уравнений, а также учитывая диссипативные силы сопротивления в исследуемой системе, получаем выражение:

$$\begin{cases} \ddot{x} + \alpha_x \cdot \dot{x} - x \left[ \frac{\dot{\phi}_2(m_2 + m_3 + m_4) + c_x}{m_1} \right] = \\ \cos(\omega_2 \cdot t) \left( \frac{(m_2 + m_3)\omega_2^2 e - m_4 \omega_2^2 l}{m_1} \right) + \\ \frac{m_2 \cdot \dot{\phi}_2 \cdot e + m_3 \cdot r \cdot \dot{\phi}_2 - m_3 \cdot 2ku \cdot r_{д} \cdot \dot{\phi}_3 + m_4 \cdot \dot{\phi}_2 \cdot l}{m_1}, \\ \ddot{z} + \alpha_z \cdot \dot{z} - z \cdot \left[ \frac{\dot{\phi}_2(m_2 + m_3 + m_4) + c_z}{m_1} \right] = \\ \frac{(m_2 + m_3)\omega_2^2 e - m_4 \omega_2^2 l}{m_1} \times \sin(\omega_2 \cdot t) - \\ \frac{(m_1 + m_2 + m_3 + m_4)g}{m_1}, \\ \frac{m_3(2rx - 2\ddot{\phi}_2 r^2 - 2ku \cdot r_{д} \dot{\phi}_3 \cdot r + x^2 + z^2)}{2} + \\ \frac{m_2(x^2 + 2ex + z^2 + 2\ddot{\phi}_2 e^2)}{2} + \frac{m_4(2\ddot{\phi}_2 l^2 + 2lx + x^2 + z^2)}{2} \\ + \ddot{\phi}_2(I_2 + I_3 + I_4) = M_{кп1} + m_2 \omega_2^2 e^2 \cdot \sin(\omega_2 \cdot t) - \\ - m_4 \omega_2^2 l^2 \cdot \sin(\omega_2 \cdot t) - M_{om1}; \\ ku \cdot r_{д} \cdot m_3(ku \cdot r_{д} \cdot \dot{\phi}_3 - (2x + r \cdot \dot{\phi}_2)) + I_3 \cdot ku \cdot \dot{\phi}_3 = \\ = (M_{кп2} - M_{om2}) \cdot ku \end{cases} \quad (4)$$

где:  $k_x^2 = \frac{\omega_2(m_2 + m_3 + m_4) + c_x}{m_1}$  – собственная частота колебаний системы относительно оси  $OX$ ;

$k_z^2 = \frac{\omega_2(m_2 + m_3 + m_4) + c_z}{m_1}$  – собственная частота колебаний системы относительно оси  $OZ$ ;

$M_{кп1}$  – крутящий момент на приводном валу;  $M_{кп2}$  – крутящий момент на дисковой оси;  $M_{om1}, M_{om2}$  – соответственно моменты сопротивления привода ротора и дисков;  $C_x, C_z$  – жесткость упругих элементов вдоль соответствующих осей.

Решив данные уравнения как линейные дифференциальные уравнения второго порядка с постоянными коэффициентами было получено линейные зависимости движения исполнительных органов исследуемой машины:

$$\begin{cases} x = \frac{F_m \alpha_x \omega_2 \sin \omega_2 t}{\left(k_x^2 - \omega_2^2\right)^2 + \alpha_x^2 \omega_2^2} + \frac{F_m \left(k_x^2 - \omega_2^2\right) \cos \omega_2 t}{\left(k_x^2 - \omega_2^2\right)^2 + \alpha_x^2 \omega_2^2} \\ z = \frac{F_m \left(k_z^2 - \omega_2^2\right) \sin \omega_2 t}{\left(k_z^2 - \omega_2^2\right)^2 + \alpha_z^2 \omega_2^2} + \frac{F_m \alpha_z \omega_2 \cos \omega_2 t}{\left(k_z^2 - \omega_2^2\right)^2 + \alpha_z^2 \omega_2^2} \end{cases} \quad (5)$$

Амплитуда колебаний относительно оси  $OX$  и  $OZ$  имеет вид:

$$\begin{cases} A_x = \frac{F_m \sqrt{\alpha_x^2 \omega_2^2 + (k_x^2 - \omega_2^2)^2}}{(k_x^2 - \omega_2^2)^2 + \alpha_x^2 \omega_2^2} = \frac{F_m}{\sqrt{(k_x^2 - \omega_2^2)^2 + \alpha_x^2 \omega_2^2}} \\ A_z = \frac{F_m \sqrt{(k_z^2 - \omega_2^2)^2 - (\alpha_z \omega_2)^2}}{(k_z^2 - \omega_2^2)^2 + \alpha_z^2 \omega_2^2} = \frac{F_m}{\sqrt{(k_z^2 - \omega_2^2)^2 + \alpha_z^2 \omega_2^2}} \end{cases} \quad (6)$$

Абсолютная амплитуда колебаний  $A = \sqrt{A_x^2 + A_z^2}$ , с учетом зависимостей (5) и (6), составляет:

$$A = \sqrt{\left( \frac{\left( \frac{(m_2 + m_3)\omega_2^2 e - m_4 \omega_2^2 l}{m_1} + \frac{m_2 \cdot \omega_2 \cdot e + m_3 \cdot r \cdot \omega_2 - m_3 \cdot 2ku \cdot r_0 \cdot \omega_3 + m_4 \cdot \omega_2 \cdot l}{\cos(\omega_2 \cdot t)m_1} \right)^2}{\left( \frac{\omega_2(m_2 + m_3 + m_4) + c_x}{m_1} - \omega_2^2 \right)^2 + \left( 2 \sqrt{\frac{\omega_2(m_2 + m_3 + m_4) + c_x}{m_1} - \omega_2^2} \right)^2 \cdot \omega_2^2} \right)^2 + \left( \frac{\left( \frac{(m_2 + m_3)\omega_2^2 e - m_4 \omega_2^2 l}{m_1} - \frac{(m_1 + m_2 + m_3 + m_4)g}{\sin(\omega_2 \cdot t) \cdot m_1} \right)^2}{\left( \frac{\omega_2(m_2 + m_3 + m_4) + c_z}{m_1} - \omega_2^2 \right)^2 + \left( 2 \sqrt{\frac{\omega_2(m_2 + m_3 + m_4) + c_z}{m_1} - \omega_2^2} \right)^2 \cdot \omega_2^2} \right)^2} \quad (7)$$

Используя представленную зависимость, можно определить другие параметры вибрационного поля для установившегося режима, пропорционально амплитуде и частоте колебаний, а именно: вибро-скорость  $v = A \cdot \omega$ ; виброускорение  $a = A \cdot \omega^2$ ; интенсивность колебаний  $I = a \cdot v = A^2 \cdot \omega^3$ .

Выражение мощности исследуемого привода будет иметь вид:

$$N_{Fmax} = \sqrt{\left( \frac{\left( \frac{(m_2 + m_3)\omega_2^2 e - m_4 \omega_2^2 l}{m_1} + \frac{m_2 \cdot \omega_2 \cdot e + m_3 \cdot r \cdot \omega_2 - m_3 \cdot 2ku \cdot r_0 \cdot \omega_3 + m_4 \cdot \omega_2 \cdot l}{\cos(\omega_2 \cdot t)m_1} \right)^2}{\left( \frac{(m_2 + m_3)\omega_2^2 e - m_4 \omega_2^2 l}{m_1} - \frac{(m_1 + m_2 + m_3 + m_4)g}{\sin(\omega_2 \cdot t) \cdot m_1} \right)^2} \right)^2} \times \left( \frac{\left( \frac{(m_2 + m_3)\omega_2^2 e - m_4 \omega_2^2 l}{m_1} + \frac{m_2 \cdot \omega_2 \cdot e + m_3 \cdot r \cdot \omega_2 - m_3 \cdot 2ku \cdot r_0 \cdot \omega_3 + m_4 \cdot \omega_2 \cdot l}{\cos(\omega_2 \cdot t)m_1} \right)^2}{\left( \frac{(m_2 + m_3)\omega_2^2 e - m_4 \omega_2^2 l}{m_1} - \frac{(m_1 + m_2 + m_3 + m_4)g}{\sin(\omega_2 \cdot t) \cdot m_1} \right)^2} \right)^2 \cdot \alpha_x \omega_2 \cdot (\alpha_x \omega_2 \cos \omega_2 t - (k_x^2 - \omega_2^2) \sin \omega_2 t) \times \left( \frac{\left( \frac{(m_2 + m_3)\omega_2^2 e - m_4 \omega_2^2 l}{m_1} - \frac{(m_1 + m_2 + m_3 + m_4)g}{\sin(\omega_2 \cdot t) \cdot m_1} \right)^2}{\left( \frac{(m_2 + m_3)\omega_2^2 e - m_4 \omega_2^2 l}{m_1} - \frac{(m_1 + m_2 + m_3 + m_4)g}{\sin(\omega_2 \cdot t) \cdot m_1} \right)^2} \right)^2 \cdot \alpha_z \omega_2 \cdot (\alpha_z \omega_2 \cos \omega_2 t - (k_z^2 - \omega_2^2) \sin \omega_2 t) \quad (8)$$

Для решения и анализа полученных уравнений движения исполнительного органа виброторной дробилки применялось математическую среду MathCad.

Использование данной программы позволило определить оптимальные значения амплитудно-частотных и энергетических характеристик в зависимости от угловой скорости приводного вала неуравновешенных масс в интервале реального времени для разработки условий работы системы с минимальными энергетическими затратами (рис. 4-7).

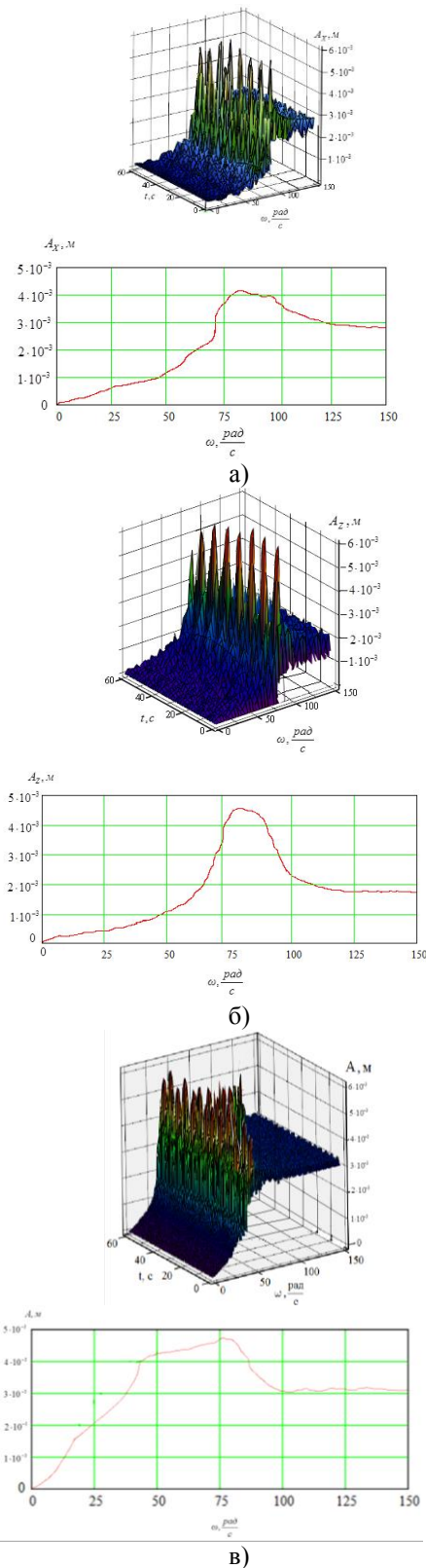
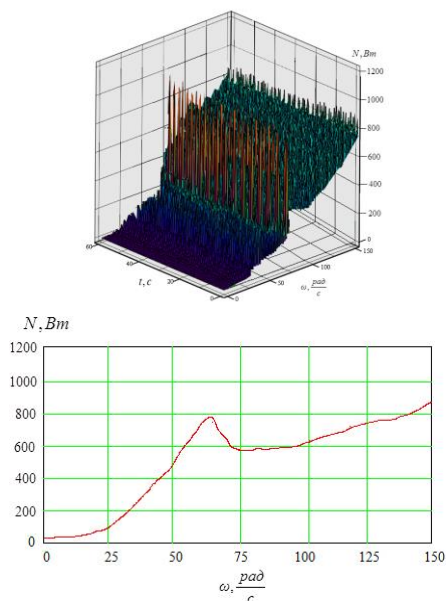
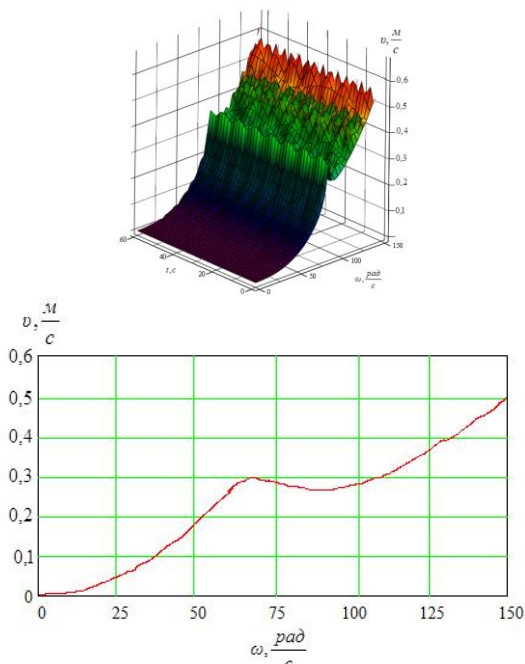


Рис. 4. Амплитудно-частотные характеристики машины: а), б) – соответствующие амплитудные составляющие по оси координат OX, OZ; в) – общая амплитуда колебаний исполнительного органа

Fig. 4. The Amplitude-frequency characteristics of the machine: а), б) – amplitude component corresponding to the coordinate axes OX, OZ; в) – the total amplitude executive unit



**Рис. 5.** Потребляемая мощность на приводном валу  
**Fig. 5.** The power consumption at the drive shaft



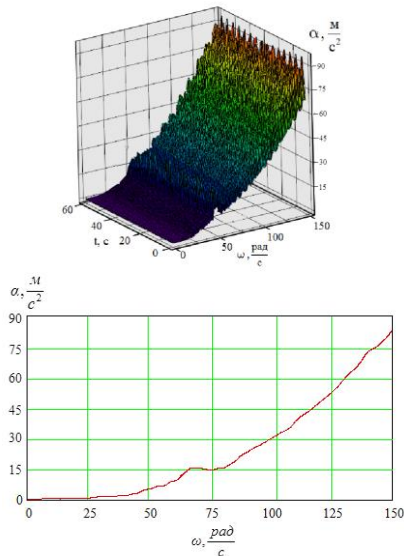
**Рис. 6.** Виброскорость исполнительного органа дробилки  
**Fig. 6.** The vibration speed of crusher executive unit

Для решения поставленной задачи принято базу данных, в которую внесены значения: диапазон угловой скорости приводного вала  $\omega_2 = 0 \dots 150$  рад/с, и интервал фактора времени  $t = 0 \dots 60$  с, а также значения основных параметров исследуемой системы.

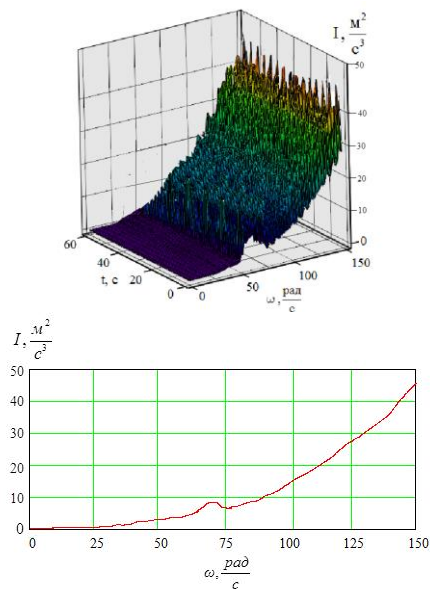
В дальнейшем исчислении использовали систему уравнений (6), которые после математического решения были внесены в тело программы MathCad для автоматизированного выявления оптимальных параметров работы.

Теоретический анализ представленных дифференциальных уравнений движения исполнительного

органа разработанной вибророторной дробилки, позволил установить, что во время его работы, без подачи материала, наблюдается резонансный режим по оси OZ до  $A_z = 4,5$  мм при угловой скорости приводного вала 80 рад / с, по оси OX –  $A_x = 4,1$  мм при 78 рад/с. Как результат, пиковые значения суммарной амплитуды колебаний наблюдаются при 76 рад/с и составляют  $A = 4,7$  мм.



**Рис. 7.** Виброускорение исполнительного органа дробилки  
**Fig. 7.** The vibration acceleration of crusher executive unit



**Рис. 8.** Интенсивность колебаний исполнительного органа дробилки  
**Fig. 8.** The vibrations intensity of crusher executive unit

Анализируя графическую зависимость виброскорости от угловой скорости приводного вала в резонансном режиме работы наблюдаемые значения до 0,3 м/с при 71 рад/с, пиковые значения наблюдаются в зарезонансном режиме при 150 рад/с, и составляют 0,5 м/с.



Рассматривая графическую зависимость виброускорения от угловой скорости, максимальное значение  $82 \text{ м/с}^2$  наблюдается при  $150 \text{ рад/с}$ .

Предыдущие графические зависимости позволили определить теоретическую кривую распределения потребляемой мощности машины от угловой скорости приводного вала.

#### ВЫВОДЫ

1. В результате силового и кинематического анализа разработанной виброторной получены графические зависимости для основных характеристик исполнительного органа исследуемой машины, а именно для амплитуды колебаний, виброскорости, виброускорения, интенсивности колебаний и мощности на приводном валу.

2. Анализ амплитудно-частотных и энергетических характеристик машины позволил обосновать оптимальные режимы работы виброторной дробилки, соответствующие значениям  $A = 3...3,1 \text{ мм}$ ,  $\omega = 100 \dots 115 \text{ рад/с}$ , причем потребляемая мощность составляет  $N = 650 \dots 750 \text{ Вт}$ .

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Паламарчук И.П., Купчук И.Н. 2012. Перспективы применения низкочастотных колебаний в процессе измельчения сырья спиртового производства // Вибрации в технике и технологиях. – №4(68), 112-123. (Украина).
2. Nasir A. 2005. Development and testing of hammer mill / A. Nasir // Department of Mechanical Engineering. – № 8(3), 124-130.
3. Riley R.V. 1996. Theory and practice of grinding / R.V. Riley // Chemical and process engineering. – № 4, 189-195.
4. Bond F.C. 1998. Some recent advances in grinding theory and practice / Bond F.C. // Brit. Fngng. – № 9, 84-93.
5. Gonzalez A.T.J. 1995. Milling process of durum wheat / A.T.J. Gonzalez // CINEAM – Options Mediterraneennes. – 43-51.
6. Gerber J. 2011. Carbons of grinding down of pulp of stounfrui and damage s of syoneareinrotorcrusher // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol. 11B. 66–77.
7. Galitsky C. 2003. Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Corn Wet Milling Industry. / C. Galitsky, E. Worrell, M.Ruth. – Berkeley: Berkeley National Laboratory, – 83.
8. Франчук В.П., Червоненко А.Г., Тарасенко А.А., Королев П.П. 1970. Энергетическая и силовая оценка различных типов приводов вибрационных мельниц. - В сб. научных трудов: Проблемы вибрационной техники. – К.: Наукова думка, – 202-210. (Украина).
9. Паламарчук И.П. 2009. Развитие конструктивных схем виброцентробежных технологических машин для реализации процессов механической обработки сельскохозяйственного сырья / И.П. Паламарчук, И.Г. Липовой, В.П. Янович // Вибрации в технике и технологиях, – №2(54), 105-115. (Украина).
10. Паламарчук И.П. 2008. Научно-технические основы разработки энергосберегающих виброторных машин механического воздействия пищевых и перерабатывающих производств // Диссертация на соискание ученой степени д.т.н. – Киев: НУПТ, 479. (Украина).
11. Yaroshevich N. 2011. Double multiple synchronization of the mechanical vibroexciters connected with linear oscillatory system/ N. Yaroshevich, S. Sosnowski // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol. 6. 294–302.
12. Солоня Е.В. 2013. Тримасная вибрационная мельница с четырьмя вибровозбудителями / Е.В. Солоня, В.С. Любин // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Vol.15. No.4. 219-224.
13. Франчук В.П., Тарасенко А.А., Королев П.П. 1970. К вопросу учета массы технологической загрузки вибрационной мельницы. – В сб. научных трудов: Проблемы вибрационной техники. – К.: Наукова думка, 193-197. (Украина).
14. Сердюк Л.И. 1994. Методика расчета вибрационных станков / Л.И. Сердюк. – Полтавский сельскохозяйственный институт, 34. (Украина).
15. John H. 1984. Mechanic of Machines / H. John, R.C. Stephens. – London: Edward, 213-224.
16. Maitra G.M. 1985. Handbook of Mechanical Design / G.M. Maitra, L.V. Prasad. – New Delhi: McGraw Hill, 89-108.
17. Пат. на полезную модель № 85270 Украины, МПК В02С25/00. Виброторная дробилка / И.П. Паламарчук, В.П. Янович, И.Н. Купчук – владелец Винницкий национальный аграрный университет № 201307504 – заявл. 11.11.2013; опубл. 11.11.2013, Бюл. № 21.
18. Быховский И.И. 1969. Основы теории вибрационной техники / Быховский И. И. – М.: Машиностроение, 363.
19. Берник П.С., Величко Л.Л., Паламарчук И.П. 1994. Аналитическое исследование комбинированного способа возбуждения колебаний // Материалы II междунар. НТК “Применение колебаний в технологиях. Расчет и проектирование машин для реализации технологий” – Винница: ВГСХИ, 13-14. (Украина).
20. Спиваковский А.О., Гончаревич И.Ф. 1983. Вибрационные машины. – М.: Наука, 288. (Украина).

#### ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODEL OF ROTOR VIBRATION CRUSHER

**Summary.** The article describes the concept of vibration impact crusher for crushing cereal starch raw material of alcohol production, that embodies the idea of a combined interaction of vibration and rotational motion of the executive body, a combination of impact and shearing effects of work items on the processed material, which will be treated as conditioning materials and feedstocks with increased moisture content without significantly reducing the capacity of equipment and the timely removal of the product from the grinding zone

On the basis of theoretical studies of the dynamic model of vibration impact crusher were obtained graphic dependences and were set optimal parameters of its work with minimal energy costs.

**Key words:** vibratory drive, driving dynamics, kinematics gear, grinding, vibration impact crusher.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОРОДО-КИСЛОРОДНОЙ СМЕСИ ДЛЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ

*Анатолий Поляков*

*Луганский национальный аграрный университет*

*Ул. Артема, 44, Харьков, Украина. E-mail: lnau\_mechfac@ukr.net*

*Anatoly Polyakov*

*Lugansk National Agrarian University*

*Str. Artem, 44, Kharkov, Ukraine. E-mail: lnau\_mechfac@ukr.net*

**Аннотация.** Получаемая при электролизе воды горючая водородо-кислородная газовая смесь, используемая для газовой сварки, характерна повышенным влагосодержанием, что вызывает проблемы при получении качественных сварных соединений. В данной статье обоснована необходимость и способ осушения водородно - кислородной газовой смеси, полученной при электролизе воды в газосварочной установке. Произведен анализ способов осушения газов и обоснован выбор оптимального способа, приемлемого для малогабаритных не стационарных водородо-кислородных газосварочных установок. Для оценки эффективности предполагаемого способа осушения газовой смеси выполнены расчеты с использованием уравнения состояния идеального газа. В результате получены данные по изменению температуры водородно-кислородной смеси при ее адиабатическом расширении от начального до конечного состояния при определенных значениях параметров давления и температуры.

Результаты расчетов подтверждены данными испытаний водородо-кислородной газосварочной установки, которые подтвердили правомерность применения выбранного способа осушения газовой смеси.

**Ключевые слова:** газовая смесь, осушение, влагосодержание.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Энергия является основным ресурсом, обеспечивающим существование современного общества. Мировые потребности в энергии сейчас удовлетворяются в основном за счет нефти, природного газа и угля, запасы которых имеют ограничения. Проблемы истощения природных ресурсов и ухудшения экологической обстановки - общеизвестны. В настоящее время повсеместно разрабатываются рекомендации по уменьшению потребления углеводородного сырья как по экологическим причинам, так и из-за исчерпания запасов. Экологическая составляющая становится жестким ограничителем объемов сжигания органического топлива. Поэтому наряду с эффективным энергосбережением требуется изыскание способов получения энергии из новых источников, а также улучшение экологических характеристик действующих и вновь разрабатываемых энергетических установок и оборудования.

В настоящее время для газопламенной обработки металлов (сварка, резка, пайка) широкое распространение получили газосварочные установки, источником газового пламени в которых является ацетилен. Дефицит карбида кальция, необходимого для получения ацетилена, а также значительные расходы на транспортировку баллонов с кислородом к месту выполнения газосварочных работ, определили необходимость проведения работ по созданию аппаратуры и технологий для обработки материалов пламенем газов заменителей ацетилена.

Одним из наиболее перспективных путей решения указанной задачи является использование водородо-кислородной смеси (гремучего газа), получаемой при разложении воды в электролизерах под воздействием электрического тока.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Разработке и исследованию конструкций, особенностей процессов, происходящих при электролизе воды в генераторах с различными электролитами уделяется достаточное внимание. В Украине исследования, проведенные специалистами Института электросварки им. Е. О. Патона, Киевского политехнического института и ряда других организаций [3, 6, 7, 14, 17, 21] и за рубежом [1, 16, 18, 19], показали, что в газовой сварке вместо горючего газа ацетилена можно использовать водород. При этом производительность и качество сварки углеродистых сталей и многих других сплавов могут быть такими же, как при работе с ацетиленом. Однако, недостаточное внимание авторами [5, 6, 20] уделялось изучению вопросов подготовки к эффективному горению генерируемой в электролизере газовой смеси, то-есть снижению ее влагоемкости и максимальной защиты газового пламени от подсоса кислорода из воздуха на выходе из мундштука горелки. В связи с изложенным и был рассмотрен вопрос осушения водородо-кислородной газовой смеси.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Цель работы – обоснование необходимости подготовки газовой водородо-кислородной смеси к работе в газосварочной установке для поднятия температуры горения и обеспечения высокого качества сварочных работ.

## ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для реализации поставленной цели были выполнены ряд расчетов, результаты которых проверены при испытаниях сварочной установки.

Экспериментальная часть исследований проводилась на водородно-кислородной газосварочной установке Газотрон 2000, разработанной в Харьковском национальном техническом университете сельского хозяйства им. П.Василенко и работающей по принципу электролитического разложения воды на водород и кислород.

Исходя из теоретических предпосылок, для получения 1 м<sup>3</sup> гремучего газа при электролизе расходуется 0,537 кг воды. Однако, как показывают экспериментальные исследования, при работе электролизных генераторов (электролизеров) расход воды оказывается существенно выше. При эксплуатации таких устройств необходимо стремиться к минимизации ее расхода по двум причинам.

Во-первых, для нормальной работы сварщика требуется, чтобы установка могла работать без дозаправки водой, как минимум 4 часа, то-есть половину рабочей смены, а объем электролита в электролизере сопоставим с расходом воды за рабочую смену. Следовательно, увеличение расхода воды потребует увеличения емкостей для ее содержания, а это повлечет за собой увеличение габаритов, массы и металлоемкости сварочной установки, что крайне нежелательно.

Во-вторых, определенная часть воды из электролита при рабочей температуре электролиза ( $t_{ом} = 80-90^{\circ}\text{C}$ ) уносится вместе с выделившимися водородом и кислородом. Из этого следует, что увеличение расхода воды выше 0,537 кг на производство 1 м<sup>3</sup> гремучего газа связано с насыщением горючей смеси парами воды, которые способствуют снижению температуры пламени и существенно влияют на ухудшение физико-механических свойств сварного соединения.

В связи с этим, при использовании в газосварочных установках водородно-кислородных электролизеров, необходимо предусмотреть нахождение рациональных способов отделения влаги от получаемой в электролизере горючей газовой смеси и реализации их при обработке конструкции сварочных установок.

Количество воды уносимой с 1 м<sup>3</sup> гремучего газа составит:

$$g_n = \frac{P}{P - p}, \quad (1)$$

где:  $g_n$  – количество паров воды, содержащихся в 1 м<sup>3</sup> гремучего газа, кг;  $p$  – парциальное давление паров воды над электролитом, кПа;  $P$  – общее давление паро – газовой смеси, кПа; 0,805 – плотность паров воды, приведенная к нормальным условиям.

**Таблица 1.** Парциальное давление водяного пара над растворами КОН, кПа

**Table 1.** The partial pressure of water vapor over КОН, kPa

Концентрация КОН, %	Температура, °С					
	0	20	40	60	80	100
0	0,61	2,33	7,35	19,9	47,2	101,1
5	0,58	2,20	7,17	18,7	46,2	98,2
10	0,55	2,10	6,75	17,5	43,6	93,2
15	0,52	1,95	6,30	17,0	40,2	87,0
20	0,47	1,75	5,80	15,5	37,3	79,5
25	0,42	1,55	5,17	13,5	32,5	70,7
30	0,35	1,40	4,25	12,0	28,0	61,2

**Таблица 2.** Парциальное давление водяного пара над растворами NaOH, кПа

**Table 2.** The partial pressure of water vapor over the solution of NaOH, kPa

Концентрация NaOH, %	Температура, °С					
	0	20	40	60	80	100
0	0,609	2,33	7,36	19,86	47,23	101,08
10	0,598	2,13	6,92	18,62	42,56	81,13
20	0,505	1,86	5,58	17,29	35,91	73,15
30	0,273	1,06	3,46	10,50	25,27	59,85
40	0,106	0,47	1,86	5,85	14,63	38,57
50	-	-	0,48	1,99	5,32	17,29

Удаление влаги из газовой смеси может быть проведено физическим или химическим методами.

Химический метод состоит в том, что осушение газовой смеси происходит при помощи твердого едкого натра, едкого кали, хлористого кальция, концентрированной серной кислоты или карбида кальция. Однако, использование в осушителях агрессивных химических веществ практически не реально, в связи с определенными требованиями по охране труда.

Физические методы осушения предусматривают:

- поглощение влаги из газовой смеси в адсорберах, заполненных силикагелем или алюмогелем (активированной окисью алюминия),

- конденсацию влаги при охлаждении газовой смеси вследствие уменьшения количества водяного пара, содержащегося в смеси при полном насыщении (относительной влажности 100%).

Адсорберы поглощают влагу из газа, однако требуют периодического обслуживания – регенерации. Учитывая относительно большой объем воды, уносимой из электролизера с гремучим газом, размеры осушителя могут быть соизмеримы с размерами электролизера, а регенерация адсорбента требует дополнительных затрат труда, рабочего времени и создает определенные неудобства при эксплуатации сварочной установки.

Наиболее перспективным является осушитель газовой смеси, принцип работы которого основан на истечении водородно-кислородной смеси из сопла



(жиклера) под действием перепада давлений в электролизере и осушителе. Газовая смесь, перемещаясь из полости с большим давлением в полость с меньшим - расширяется, а значит охлаждается, и влага, находящаяся в газовой смеси, конденсируется в осушителе. Использование осушителей такого типа приводит к некоторому повышению давления в электролизере, что позволяет не только осушать газовую смесь в осушителе, но и уменьшить суммарное количество воды уносимой из электролизера.

Для оценки эффективности такого осушителя выполним некоторые расчеты. Определим, как изменится температура кислородно-водородной смеси при его адиабатическом расширении от его начального состояния определяемого параметрами  $P_1=0,2 \cdot 10^6$  мПа и температурой  $T_1 = 333^\circ\text{K}$  ( $T_1=60^\circ\text{C}$ ) до конечного состояния с давлением  $P_2 = 0,11 \cdot 10^6$  мПа.

Кислородно-водородная смесь состоит из объемных долей кислорода  $\gamma_{O_2}=1/3$  и водорода  $\gamma_{H_2} = 2/3$ . Газовая постоянная смеси  $R_{см}$  исходя из уравнения Клапейрона-Менделеева равна:

$$R_{см} = \frac{8314}{\mu_{см}} = \varphi \frac{8314}{\gamma_{O_2} \mu_{O_2} + \gamma_{H_2} \mu_{H_2}}, \quad (2)$$

где:  $\mu_{O_2}$ ,  $\mu_{H_2}$  – молекулярные массы соответственно кислорода и водорода.

Показатель адиабаты для кислородно-водородной смеси равен:

$$K_{см} = \frac{C_{P,см}}{C_{V,см}} = \frac{\gamma_{H_2} \frac{\mu_{C_{P_{H_2}}} + \gamma_{O_2} \frac{\mu_{C_{P_{O_2}}}}{\mu_{O_2}}}{\gamma_{H_2} \frac{\mu_{C_{V_{H_2}}} + \gamma_{O_2} \frac{\mu_{C_{V_{O_2}}}}{\mu_{O_2}}}}. \quad (3)$$

Исходя из уравнения Клапейрона находим удельный объем газа:

$$V_1 = \frac{R_{см} T_1}{P_1}. \quad (4)$$

Определим удельный объем газа после расширения, исходя из соотношения параметров газа при адиабатическом расширении:

$$V_2 = V_1 \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1}{K}}. \quad (5)$$

Конечная температура газа:

$$T_2 = \frac{P_2 \cdot V_2}{R_{см}}. \quad (6)$$

Из электролита концентрацией 25% КОН, количество воды, уносимой с  $1 \text{ м}^3$  газовой смеси из электролизера с осушителем, уменьшится, а температура смеси газов понизится от  $T = 333^\circ\text{K}$  к  $T = 280,86^\circ\text{K}$ :

$$\frac{g_1}{g_2} = \frac{P}{P-p} = \frac{P_{oc}-p}{P-p}, \quad (7)$$

где:  $g_1$  – количество воды, уносимой из электролизера без осушителя с  $1 \text{ м}^3$  газовой смеси,  $\text{г}/\text{м}^3$ ;  $g_2$  – количество воды, уносимой из электролизера с осушителем с  $1 \text{ м}^3$  газовой смеси,  $\text{г}/\text{м}^3$ ;  $p$  – парциальное давление водяного пара над 25%-ным раствором КОН при температуре  $60^\circ\text{C}$ , кПа;  $P$  – давление газовой смеси в электролизере без осушителя, кПа;  $P_{oc}$  –

давление газовой смеси в электролизере при использовании осушителя, кПа.

При работе электролизера с осушителем количество воды, уносимой с вырабатываемой газовой смесью, составит  $58,3 \text{ г}/\text{м}^3$ , а без осушителя –  $102 \text{ г}/\text{м}^3$ . Кроме того, при понижении температуры газовой смеси в осушителе до  $7,8^\circ\text{C}$ , количество влаги в этой смеси, при относительной влажности 100%, уменьшится до  $7,5 \text{ г}/\text{м}^3$  (табл. 3).

**Таблица 3.** Количество влаги в газе при полном насыщении

**Table 3.** The amount of moisture in the gas is fully saturated with

Температура, $^\circ\text{C}$	Уд. вес водяных паров, $\text{г}/\text{м}^3$ газа	Температура, $^\circ\text{C}$	Уд. вес водяных паров, $\text{г}/\text{м}^3$ газа
30	30,3	5	6,8
25	23,0	0	4,8
20	17,3	- 5	3,2
15	12,8	- 10	2,1
10	9,4	- 15	1,4

Следовательно, при прохождении  $1 \text{ м}^3$  гремучего газа через осушитель, в нем сконденсируется  $50,8 \text{ г}$  воды. Экспериментальные исследования водородно-кислородной газосварочной установки оборудованной осушителем, работающим по описанному выше принципу, подтвердили правильность приведенных расчетов. Достаточно высокая степень осушения газовой смеси позволила существенно повысить температуру водородно-кислородного пламени и значительно расширить технологические возможности сварочной установки.

## ВЫВОДЫ

1. Для малогабаритной водородно-кислородной сварочной установки предложен наиболее перспективный осушитель газовой смеси, принцип работы которого основан на истечении водородно-кислородной смеси из сопла (жиклера) под действием перепада давлений в электролизере и осушителе.

2. Выполнены расчеты для оценки эффективности работы предложенного осушителя. Установлено, что при работе электролизера с осушителем количество воды, уносимой с вырабатываемой газовой смесью, составит  $58,3 \text{ г}/\text{м}^3$ , а без осушителя –  $102 \text{ г}/\text{м}^3$ . Кроме того, при понижении температуры газовой смеси в осушителе до  $7,8^\circ\text{C}$ , количество влаги в этой смеси, при относительной влажности 100%, уменьшится до  $7,5 \text{ г}/\text{м}^3$  (табл.3).

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Якименко Л.М., Модылевская И.Д., Ткачук З.А. 1970.** Электролиз воды. Под ред. д.т.н., проф. Л.М. Якименко. М.: Химия, – 135.
2. **Базаров И.П. 1991.** Термодинамика. М.: Высшая школа, – 376.
3. **Корж В.Н., Попиль Ю.С. 2010.** Обработка металлов водородно-кислородным пламенем. – К.: "Экотехнология", – 194. (Украина).

4. **Герашенко О.А., Гордов А.Н., Еремина А.К. 1989.** Температурные измерения. Справочник. Отв. ред. Герашенко О.А. Киев: Наукова думка, – 709. (Украина).
5. **Варламов И.В., Феоктистов Н.А. 1993.** Проблемы улучшения технологии и безопасности при выполнении сварочно-паяльных работ и охраны окружающей среды // Охрана окружающей среды на предприятиях бытового обслуживания. Сб. науч. труд. – М.: ГАСБУ, 45-60.
6. **Варламов И.В., Феоктистов Н.А., Теодорович Н.Н. 2001.** Электролизно-водные генераторы кислородно-водородной смеси в технологии пайки сварки // Теоретические и прикладные проблемы сервиса. №1. 10-224.
7. **Феоктистов Н.А. 2009.** Электролизно-водные генераторы с управлением от микро-ЭВМ // Естественные и технические науки. № 6. 567-570.
8. **Феоктистов Н. А. Кокорин В. В. Варламов И. В. 2011.** Методика расчета и проектирования кислородно-водородных сварочных станций малой мощности до 1 квт. Интернет-журнал Науковедение Вып. № 2 (7).
9. **Тридуб А.Г., Науменко А.О. 2009.** Усовершенствование оборудования водородно-кислородной сварки для восстановления деталей напылением // Вестник Харьковского государственного технического университета сельского хозяйства. Вып. 15 "Повышение надежности восстановленных деталей машин". 302-306.
10. **Дмитрий Милько. 2015.** Обоснование формы диффузора двухшнекового уплотнителя и теретические исследования изменяемого в нем давления // MOTROL commission of motorization and energetic in agriculture Vol. 17. №7. Lublin-Rzeszow 2015. 127-130.
11. **Виталий Власовец, Артем Науменко, Валерий Заец. 2015.** Теоретическое обоснование использования магнитного структурного анализа для оценки механических свойств деталей // MOTROL commission of motorization and energetic in agriculture Vol. 17. №7. Lublin-Rzeszow 2015. 159-162.
12. **Шержуков И.Г., Тридуб А.Г. и др. 2009.** Способ измерения температуры в факеле газового пламени // «Проблемы сельскохозяйственного производства на современном этапе и пути их решения». XIII Международная научно-производственная конференция. – Белгород. – 219.
13. **Сидашенко О.И., Шержуков И.Г. 2009.** Исследования температуры водородно-кислородного сваривального пламя // Вестник Львовского национального аграрного университета: Агроинженерные исследования. – Львов. 120-122.
14. **Патент №52789. 2003.** (Украина) С25В9/00. Устройство для получения гремучего газа. Сидашенко О.И., Шержуков И.Г., Тридуб А.Г., Науменко А.О. Опубл. 15.01.2003. Бюл. №1.
15. **Патент № 29697. 2008.** (Украина) G01K 7/00. Процесс измерения температуры. Автисян В.К., Польотов В.А., Сидашенко О.И., Скобло Т.С., Тридуб А.Г., Шержуков И.Г. Опубл. 25.01.2008. Бюл. №2.
16. **Патент № 2254643.2004.** (РФ) H01M8/06. Батарея водородно-кислородных (воздушных) щелочных топливных. Каричев З.Р. Опубл.20.06.2005.
17. **Патент №1838058.1991.** (СССР) В 23 К 5/00. Устройство для получения гремучего газа. Тридуб А.Г., Шержуков И.Г., Сидашенко А.И. Опубл.30.08.93. Бюл. №32.
18. **Справочник. 1989.** Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение. М.: Химия.
19. **Патент № 2060928. 1996.** (РФ) С01В3/08. Способ получения водорода и устройство для его осуществления. Константиновский В.А., Кириллов В.И., Ванин Ю.П., Трусов А.С. Опубл. 27.05.1996.
20. **Балакин В.И. 1986.** Применение электролизно-водных генераторов при пайке, резке и сварке// Автоматическая сварка. – №8 – 57-61.
21. **Кислицын В.М., Мусин А.Г., Шевченко В.П. 1981.** Газогенераторы водородно - кислородной смеси ГВК-1,5 и ГВК-0,2. – Киев.

#### THE USE OF HYDROGEN-OXYGEN MIXTURE FOR GAS WELDING

**Summary.** Obtained by the electrolysis of water combustible hydrogen-oxygen gas mixture used for gas welding, characterized by high moisture content, which causes problems in obtaining high-quality welded joints. In this article, the necessity of drying method and the hydrogen - oxygen gas mixture obtained by the electrolysis of water in the gas-welding unit. The analysis methods of drying gas and justified choice of the optimal method is not suitable for small stationary hydrogen-oxygen gas welding units. To evaluate the effectiveness of the intended method of drying the gas mixture, calculations using equation of state of ideal gas. As a result, the data obtained by the temperature of the hydrogen-oxygen mixture during its adiabatic expansion from the initial to the final state for certain values of the parameters of pressure and temperature.

The calculation results are confirmed by tests of hydrogen-oxygen gas-welding installation, which confirmed the validity of the application of the selected method of drying the gas mixture.

**Key words:** gas mixture, moisture content, drainage.

## АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ БИОДИЗЕЛЬНОГО ГОРЮЧЕГО И ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕАКТОРА-РАЗДЕЛИТЕЛЯ

*Геннадий Голуб<sup>1</sup>, Савелий Кухарец<sup>2</sup>, Алексей Осыпчук<sup>2</sup>, Валентина Кухарец<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины*

*Ул. Героев Оборона, 15, Киев, Украина. E-mail: gagolub@mail.ru*

<sup>2</sup>*Житомирский национальный агроэкологический университет*

*Ул. Бульвар Старый, 7, Житомир, Украина. E-mail: whitevipx@gmail.com*

*Gennady Golub<sup>1</sup>, Savel Kuharets<sup>2</sup>, Oleksii Osypchuk<sup>2</sup>, Valentina Kuharets<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

*St. Heroes of Defense, 15, Kiev, Ukraine. E-mail: gagolub@mail.ru*

<sup>2</sup>*Zhytomyr National Agroecological University*

*St. Boulevard Starui, 7, Zhytomyr, Ukraine. E-mail: whitevipx@gmail.com*

**Аннотация.** Приведены результаты теоретических исследований по определению основных параметров реактора-разделителя для получения дизельного топлива из растительного масла. Установлены режимы работы гидростанции, которые обеспечивают минимальные затраты энергии на перемешивание эмульсии. Проведен ряд опытов с трех факторным планом бокса Банкетты в котором определяются зависимости между мощностью затрачиваемое на перемешивание, обороты гидронасоса и диаметра сопла форсунки. Определены и представлены оптимальные параметры смесителей, которые обеспечат полное протекание необходимой реакции метанолиза с минимальными затратами энергии. Качество полученного биодизеля соответствует требованиям ДСТУ 6081: 2009 по кинематической вязкости, плотности и температуре вспышки в закрытом тигле. Полученное биотопливо можно использовать в дизельных двигателях тракторов и другой мобильной техники, выполнив небольшую модернизацию. Для не модернизированных двигателей доля метиловых эфиров жирных кислот в составе минерального дизельного топлива не должна превышать 30%.

Доказано, что низкие значения удельной мощности перемешивания эмульсии при производстве дизельного биотоплива в циркуляционных смесителях-разделителях будут принадлежать диапазонам диаметра сопла форсунок от 10 до 30 мм и достигнут минимального значения 9,8 Вт/м<sup>3</sup> при рабочем объеме циркуляционного смесителя-разделителя дизельного биотоплива 50 м<sup>3</sup>, число оборотов гидронасоса и диаметр сопла форсунки имеют существенное влияние на действительную мощность, затрачиваемая на перемешивание и циркуляцию эмульсии в смесителе. Угол установки форсунок не имеет существенного влияния на затраты энергии на перемешивание и циркуляцию эмульсии. В диапазоне оборотов гидронасоса от 800 до 1400 об/мин потребляемая мощность незначительно снижается при изменении диаметра сопла форсунки в пределах от 9 до 30 мм, а в диапазоне от 200 до 800 об/мин при изменении диаметра сопла форсунки в пределах

от 9 до 30 мм остается практически постоянной.

Минимальные энергозатраты при перемешивании и циркуляции эмульсии объемом 0,15 м<sup>3</sup> в циркуляционном смесителе ЦРПР 2 достигаются при частоте оборотов гидронасоса НШ-100 n=400 об/мин. При этом обеспечивается достаточная интенсивность перемешивания эмульсии.

**Ключевые слова:** реактор, разделитель, масло, биодизель, перемешивания, мощность

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Получают биодизель или метиловые эфиры жирных кислот в процессе этерификации: из триглицеридов масел при химической реакции алкоголиза [1-3].

Известно, что реакция алкоголиза наиболее полно (до 98%) происходит при применении метанола, а затем снижается с увеличением молекулярной массы спирта (в этаноле и пентаноле составляет всего 35,3 и 11,5% по массе, соответственно) [4], поэтому реакцию получения метиловых эфиров жирных кислот можно назвать метанолизом.

Наиболее широкое применение получил метанолиз масел с щелочным катализатором [5-8], при котором процесс получения биотоплива проходит при температуре 20-70°C. При этом используют щелочные катализаторы NaOH и KOH в количестве от 0,3% до 1,5% по массе триглицеридов масла.

После этерификации происходит операция разделения глицериновой и эфирной фаз. Простой и наименее энергозатратный способ разделения - это осаждения более тяжелой фракции.

Учитывая, что метанол слабо растворяется в растительном масле [9], после добавления раствора метилового спирта в масло, жидкости располагаются слоями соответственно значению их плотностей. Следовательно, необходимо выполнять перемешивания, что приводит к образованию двухфазной системы - эмульсия, в которой сплошная среда - растительное масло и дисперсионная фаза - раствор метанола с щелочным катализатором. Очевидно, что бы удерживать эмульсию в дисперсионном состоя-

нии, ее необходимо непрерывно перемешивать (турбулизовать), [10]. Ход процесса турбулизации зависит от гидродинамических условий [11].

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Чем больше межфазная поверхность тем быстрее проходит этерификация, так как она образует поверхность контакта реагентов. Однако, интенсивное перемешивание приводит, к заблаговременному разрушению межфазной поверхности, что в свою очередь не позволяет состояться реакции метанолиза в полной мере. Поэтому, необходимо сначала обеспечить равномерное послойное перемешивание эмульсии в области «перемешивания», или «образования дисперсионного состояния эмульсии» и в дальнейшем провести прохождения реакции этерификации в условиях меньшего уровня турбулизации суспензии в области «прохождения реакции» [12, 13].

Процесс перемешивания характеризуется двумя основными факторами: эффективностью перемешивания и расходом энергии [10, 11]. Под эффективностью перемешивания подразумевают качество результата, что достигается, по времени, то есть равномерность распределения концентраций сред, что перемешиваются.

Учитывая ресурсосбережительность и энергоэффективность рациональные параметры технологического процесса этерификации должны соответствовать установленным параметрам: температура 40°C; соотношение спирта к маслу 6:1 моль:моль; количество катализатора 1%; интенсивность перемешивания 1,8 Вт/л продолжительность процесса 40 минут [14, 15].

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Определение основных параметров реактора разделителя для получения дизельного топлива из растительного масла.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для процесса этерификации растительных масел с целью получения метиловый эфир жирных кислот предлагается циркуляционное перемешивание, осуществляемой многократной перекачкой жидкости по замкнутому контуру. К схеме циркуляционного перемешивания относятся: сосуд - гравитационный объект (рис. 1), циркуляционный насос, трубопроводы, запорно-регулирующая аппаратура.

Благодаря тому, что форсунки установлены в корпусе гравитационного разделителя на одном уровне по высоте и ориентированы таким образом, чтобы при перекачке эмульсии образовывать турбулентный круговой поток эмульсии в его верхней части, обеспечивается равномерное послойное перемешивание эмульсии в зоне размещения форсунок. При откачке эмульсии из нижней части гравитационного разделителя перемешанный слой эмульсии опускается ниже, обеспечивая прохождение реакции этерификации в условиях меньшего уровня турбу-

лизации суспензии и за счет этого достигается повышение качества дизельного биотоплива.

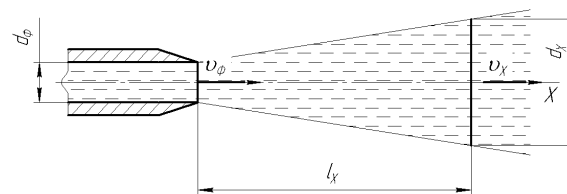


**Рис. 1.** Расчетная схема гравитационного разделителя:  $H_p$  – высота разделителя, м;  $H_{оп}$  – высота области перемешивания, м;  $H_{пр}$  – высота области прохождения реакции, м;  $H_{вг}$  – высота области отстаивания глицерина, м;  $D_p$  – рабочий диаметр разделителя, м;  $D_{вф}$  – диаметр установки форсунок, м;  $d_{ф}$  – диаметр сопла форсунок, м;  $h_{вф}$  – высота установки форсунок, м;  $D_{зл}$  – диаметр отверстия для слива глицерина, м;  $\alpha_{об}$  – конусность области отстаивания, рад;  $\alpha_{ф}$  – угол установки форсунки, рад

**Fig. 1.** The calculation scheme of the gravitational separator:  $H_p$  – height the separator, m;  $H_{оп}$  – height of the mixing, m;  $H_{пр}$  – height the reaction region, m;  $H_{вг}$  – height the area of upholding glycerol, m;  $D_p$  – working diameter the separator, m;  $D_{вф}$  – installation diameter injectors, m;  $d_{ф}$  – the diameter of the injector nozzle, m;  $h_{вф}$  – installation height of injectors, m;  $D_{зл}$  – diameter holes for draining glycerol, m;  $\alpha_{об}$  – taper settling area, rad;  $\alpha_{ф}$  – installation injector angle, rad

При использовании форсунок, струя эмульсии вытекающей из сопла расширяется в направлении выхода струи (рис. 2), это вызвано следующими факторами [10, 11]:

1. Поток жидкости, вытекающей из сопла, толкает перед собой эмульсию, которая находится в сосуде впереди сопла,
2. Слой жидкости, которые находятся вокруг струи, за счет тангенциальных напряжений между слоями эмульсии, движущихся с разными скоростями, а также турбулентным проникновением элементарных частиц струи в окружающую жидкость, также приобретают движение.

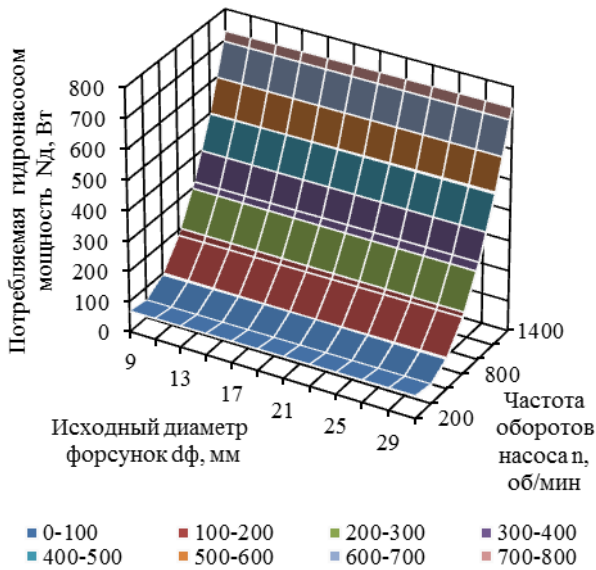


**Рис. 2.** Схематическое изображение струи, вытекающей из форсунки:  $d_{ф}$  – диаметр сопла форсунки, м;  $d_x$  – диаметр струи на расстоянии  $l_x$  от форсунки, м;  $v_{ф}$  – скорость вытекания эмульсии с форсунки, м/с;  $v_x$  – скорость струи эмульсии на расстоянии  $l_x$  от форсунки, м/с

**Fig. 2.** Schematic illustration of the jet emanating from the nozzle:  $d_{ф}$  – the diameter of the injector nozzle, m;  $d_x$  – diameter of the jet at the distance  $l_x$  of injector, m;  $v_{ф}$  – the rate of leakage of emulsion with a injec-

tor, m/sek;  $v_x$  – the jet velocity emulsion at the distance  $l_x$  of injector, m/sek

С учетом исследований [11, 12] и принимая, что вытекание эмульсии из сопла описывается согласно [17, 18], получим рис 3.

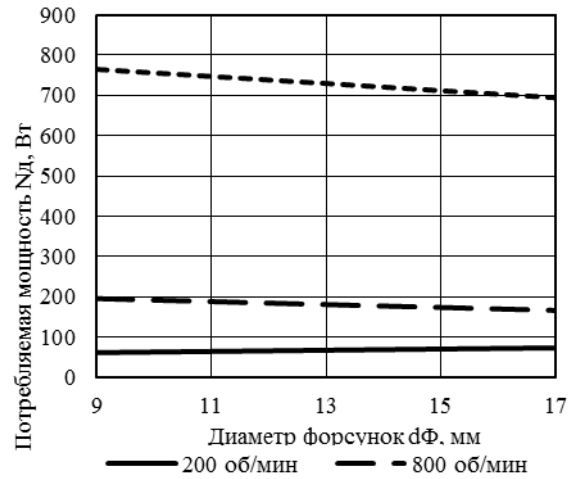


**Рис. 3.** Зависимость мощности  $N_d$ , что расходуется на перемешивание и циркуляцию эмульсии от частоты вращения гидронасоса  $n$  и диаметра сопла форсунки  $d_f$

**Fig. 3.** The dependence of the power  $N_d$  that is consumed in the mixing and circulation emulsion on the rotational speed of the hydraulic pump  $n$  and injector diameter of the nozzle  $d_f$

Регрессионный анализ данных позволил установить, что число оборотов гидронасоса  $n$  и диаметр сопла форсунки  $d_f$  имеют существенное влияние на действительную мощность  $N_d$ , что расходуется на перемешивание и циркуляцию эмульсии в смесителе. Угол установки форсунок  $\beta_f$  не имеет существенного влияния на затраты энергии на перемешивание и циркуляцию эмульсии.

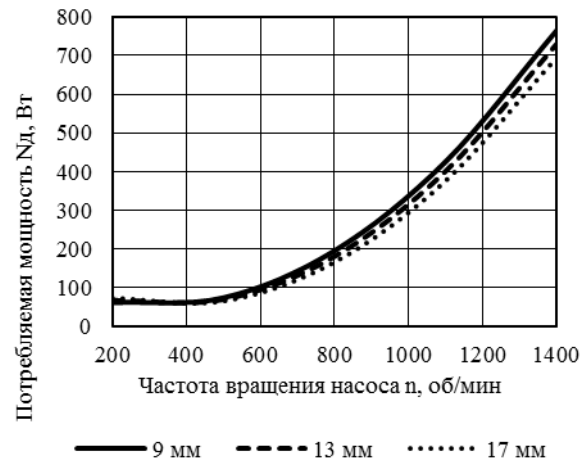
Графическое решение данного уравнения позволило определить подходящую поверхность (рис. 4) и установить, что в диапазоне оборотов гидронасоса  $n$  от 800 до 1400 об/мин потребляемая мощность незначительно снижается при изменении диаметр сопла форсунки  $d_f$  в пределах от 9 до 30 мм. В диапазоне от 200 до 800 об/мин при изменении диаметр сопла форсунки  $d_f$  в пределах от 9 до 30 мм остается практически постоянной (рис. 4).



**Рис. 4.** Графики зависимости мощности  $N_d$ , от диаметра сопла форсунки  $d_f$  при разных частотах вращения насоса  $n$

**Fig. 4.** The graphs of the power  $N_d$  of the diameter of the injector nozzle  $d_f$  at different pump speeds  $n$

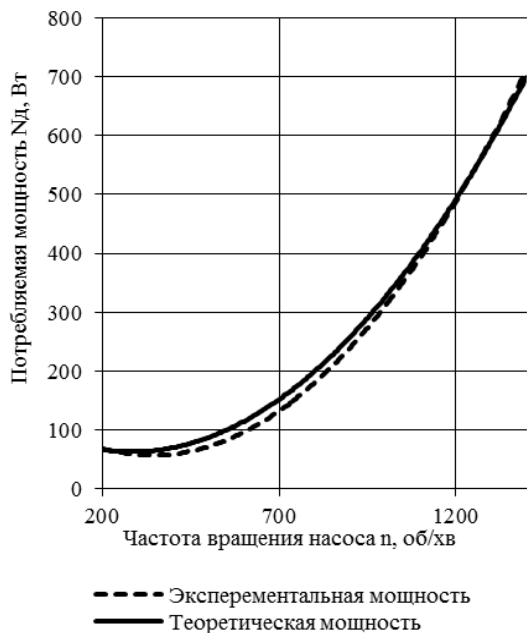
Анализ поверхности на экстремумы позволил установить, что минимальные энергозатраты при перемешивании и циркуляции эмульсии достигаются при частоте оборотов гидронасоса  $n=400$  об/мин (рис. 5).



**Рис. 5.** Графики зависимости мощности  $N_d$ , от частоты вращения гидронасоса  $n$  при различных исходных диаметрах форсунки  $d_f$

**Fig. 5.** The graphs of the power  $N_d$ , of the rotational speed of the hydraulic pump  $n$  at different initial nozzle diameter  $d_f$

Значение потребляемой мощности полученные в результате экспериментальных исследований соответствуют значения мощности рассчитанным теоретически (рис. 6), в соответствии с математической модели энергосберегающего циркуляционного перемешивания эмульсии в циркуляционных смесителях



**Рис. 6.** Опытная и теоретическая зависимости мощности  $N_d$ , от частоты вращения гидронасоса  $n$  (диаметр форсунки  $d_\phi = 17$  мм).

**Fig. 6.** Experimental and theoretical capacity dependence  $N_d$  of on the frequency of rotation of the hydraulic pump  $n$  (nozzle diameter  $d_\phi = 17$  mm)

Согласно проведенных исследований рациональным является установление минимального выходного диаметра форсунки  $d_{\phi min} = 10$  мм. Для определения максимального выходного диаметра форсунки необходимо с помощью имитационного моделирования установить влияние объема  $V_p$  и диаметра сопла  $d_\phi$  форсунок циркуляционных реакторов-разделителей на удельную мощность  $n_T$ , затрачиваемое на циркуляцию эмульсии.

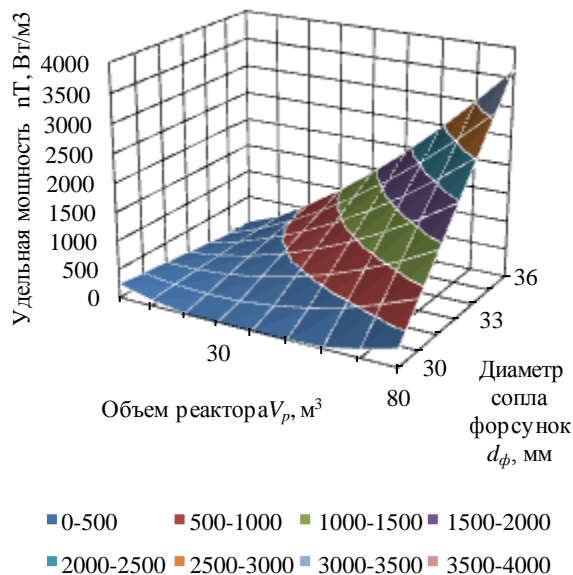
Проведенные имитационные исследования позволили установить, эмпирическую зависимость между удельным мощность  $n_T$  ( $Вт/м^3$ ) и номинальным объемом реактора  $V_p$ , ( $м^3$ ) и диаметром сопла форсунки  $d_\phi$  (мм):

$$n_T = 906,390 - 246,079V_p + 4,767d_\phi + 0,227V_p^2 + 7,62V_p d_\phi - 0,893d_\phi^2, \quad (1)$$

где:  $n_T$  – удельная мощность;  $V_p$  – номинальный объем реактора;  $d_\phi$  – диаметр сопла форсунки.

Графическое решение данной зависимости (рис. 7.) позволило установить, что низкие значения удельной мощности будет лежать в диапазоне диаметра сопла форсунок  $d_\phi$  до 35 мм и достигнут минимального значения  $n_T = 9,8$   $Вт/м^3$  при рабочем объеме циркуляционного смесителя-разделителя дизельного биотоплива  $V_p = 50$   $м^3$ . Поэтому, максимальный выходной диаметр сопла форсунки составит  $d_{\phi max} = 35$  мм.

Параметры циркуляционных смесителей-разделителей, имеющих минимальные энергозатраты на производство дизельного биотоплива, определены теоритически и подтверждены в результате экспериментальных исследований и приведены в таблице 1.



**Рис. 7.** Зависимость удельной мощности  $n_T$  от номинального объема ректора  $V_p$  и диаметра сопла форсунок  $d_\phi$

**Fig. 7.** The dependence of the specific power of the nominal volume of the reactor and the diameter of the injector nozzles

**Таблица 1.** Рациональные параметры циркуляционных смесителей-разделителей

**Table 1.** Rational parameters of the circulating mixers- separators

Параметр	Внутренний диаметр сосуда $D_p$ , м					
	0,8	1,2	1,4	2,2	3	3,2
Номинальный объем $V_p$ , $м^3$	0,4	1	2	10	50	63
Диаметр установки форсунок $D_{вф}$ , м	0,74	1,12	1,31	2,09	2,88	3,06
Диаметр сопла форсунки $d_\phi$ , мм	20	25	30	30	30	30
Высота разделителя $H_p$ , м	0,95	1,12	1,57	3,05	7,65	8,45
Высота установки форсунок $h_{вф}$ , м	30	41	43	53	61	68
Количество форсунок $n_\phi$ , шт	4	4	4	4	4	4
Давление в форсунке РФ, МПа	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
Подача насоса $Q_{нас}$ , $м^3/с$	0,0061	0,0083	0,0087	0,0106	0,0123	0,0137
Теоретическая мощность насоса $N_T$ , Вт	61,3	83,4	173,4	318,6	490,5	685,5
Удельная мощность насоса $n_T$ , $Вт/м^3$	153,3	83,4	86,7	31,9	9,8	10,9



1	2	3	4	5	6	7
Время одного цикла $\tau_{\text{Ц}}$ , с	65,6	120,5	229,9	943,4	4065	4598,5
Высота области перемешивания $H_{\text{ОП}}$ , м	0,06	0,08	0,09	0,11	0,12	0,14
Высота области прохождения реакции $H_{\text{ПР}}$ , м	0,66	0,69	1,08	2,31	6,66	7,39
Высота области отстаивания глицерина $H_{\text{ВГ}}$ , м	0,23	0,35	0,4	0,64	0,87	0,92
Производительность $P_{\text{ДБП}}$ , м <sup>3</sup> /год	0,03	0,08	0,16	0,81	4,05	5,10

Данные параметры обеспечивают достаточную эффективность перемешивания эмульсии в области перемешивания и полное протекание реакции метанолиза в области прохождения реакции с минимальными удельными энергозатратами.

Полученное, в результате предлагаемого технологического процесса с применением циркуляционных реакторов смесителей-разделителей, дизельное биотопливо (на основе рапсового и подсолнечного масла) имеет характеристики приведены в таблице 2.

**Таблица 2.** Параметры качества дизельного биотоплива

**Table 2.** The quality parameters of diesel biofuel

Наименование дизельного топлива	Название показателя					
	Плотность при 15°C, кг/м <sup>3</sup>		Кинематическая вязкость при температуре 40°C, мм <sup>2</sup> /с		Температура вспышки в закрытом тигле, °C	
	Фактически	Согласно ДСТУ 6081, в пределах	Фактически	Согласно ДСТУ 6081, в пределах	Фактически	Согласно ДСТУ 6081, не менее
Рапсовый метиловый эфир	879	860-900	4,42	3,5-5,0	197	120
Подсолнечный метиловый эфир	882	860-900	4,2	3,5-5,0	204	120
Дизельное топливо	860	-	4,0	-	40	-
Метод испытаний	ГОСТ 3900		ДСТУ ГОСТ 33		ГОСТ 6356	

Итак, полученное на экспериментальной установке дизельное биотопливо по показателям качества: кинематическая вязкость, плотность и темпе-

ратура вспышки в закрытом тигле соответствует действующему ДСТУ 6081.

Полученное дизельное биотопливо можно использовать в дизельных двигателях тракторов и другой мобильной техники, выполнив небольшую модернизацию [15-18]

Использование полученного дизельного биотоплива в дизельных двигателях без их конструктивных изменений, согласно результатам научных исследований [19-25], возможно при 30% соотношении метиловых эфиров жирных кислот к традиционному нефтяному дизельному топливу.

## ВЫВОДЫ

Установлено, что низкие значения удельной мощности  $w_m$  перемешивания эмульсии при производстве дизельного биотоплива в циркуляционных смесителях-разделителях будут принадлежать диапазонам диаметров сопла форсунок  $d_f$  от 10 до 30 мм и достигнут минимального значения  $n_m = 9,8$  Вт/м<sup>3</sup> при рабочем объеме циркуляционного смесителя-разделителя дизельного биотоплива  $V_p = 50$  м<sup>3</sup> число оборотов гидронасоса  $n$  и диаметр сопла форсунки  $d_f$  имеют существенное влияние на действительную мощность  $N_d$ , затрачиваемую на перемешивание и циркуляцию эмульсии в смесителе. Угол установки форсунок  $\beta_f$  не имеет существенного влияния на затраты энергии на перемешивание и циркуляцию эмульсии. В диапазоне оборотов гидронасоса  $n$  от 800 до 1400 об/мин потребляемая мощность незначительно снижается при изменении диаметра сопла форсунки  $d_f$  в пределах от 9 до 30 мм. В диапазоне от 200 до 800 об/мин. при изменении диаметра сопла форсунки  $d_f$  в пределах от 9 до 30 мм остается практически постоянной. Минимальные энергозатраты при перемешивании и циркуляции эмульсии объемом  $V_p = 0,15$  м<sup>3</sup> в циркуляционном смесителе ЦРПР 2 достигаются при частоте оборотов гидронасоса НШ-100  $n = 400$  об/мин., При этом обеспечивается достаточная интенсивность перемешивания эмульсии.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Артамонов П.А. 1962.** Переэтерификация жиров. Обзор. – М. – 71.
2. **Гринберг Г. Щепанская. Г. 1973.** Модифицированные жиры. М. – 152.
3. **Карнаузов О.И. 2005.** Общая химия: учебник для студентов высших учебных заведений / [Карнаузов О.И., Копилевич В.А., Мельничук Д.О. и др.] К.: Феникс. – 840. (Украина).
4. **Тютюнников Б.Н., Бухштаб З.И., Гладкий Ф.Ф. и др. 2002.** Химия жиров: [учебник]. За редакцией Гладкого Ф.Ф. Харьков: НТУ „ХПИ” – 452. (Украина).
5. **Семенов В.Г. 2007.** Биодизельное топливо: состояние и перспективы развития. Автошляховик Украины. № 2. – 13-15.
6. **Забарный Г.М., Кудря С.О., Кондратюк Г.Г., Четверык Г.О. 2006.** Термодинамическая эффективность и ресурсы жидкого топлива биотоплива Украины. К.: Институт восстанавливаемой энергетики. – 226. (Украина).

7. **Jon Van Gerpen. 2005.** Biodiesel processing and production. Fuel Processing Technology – Volume 86. – 1097-1107.
8. **Гаврыш В., Пилип В. 2012.** Стратегия использования энергетического биосырья. Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa, Motrol – Lublin. Tom.12. No.2. – 39-45.
9. **J. Van Gerpen, B. Shanks, R. Pruszek, D. Clements, G. Knothe. 2004.** Biodiesel Production Technology. - National Renewable Energy Laboratory subcontractor report NREL/SR-510-36244. – 110.
10. **Стренк Ф. 1975.** Перемешивание и аппараты с мешалками. Пер. с польского под редакцией И.А. Щупляка. Л.: Химия. – 384.
11. **Штербачек З., Тауск П. 1963.** Перемешивание в химической промышленности. пер. с чешского. Под. ред. И.С. Павлушенко. Л.: Госхимиздат. – 416.
12. **Голуб Г., Кухарец С., Осипчук О., Павленко М. 2015.** Исследование энергетической эффективности циркуляционных реакторо-разделителей. Техничко-технологические аспекты развития и испытаний новой техники и технологий для сельского хозяйства Украины. Науч. Издат.: УкрНИИПИТ. Вып. 19 (33). – 276-283.
13. **Голуб Г.А. 2011.** Эффективность производства дизельного биотоплива из рапсового масла. Вестник аграрной науки. № 6. – 33-36. (Украина).
14. **Голуб Г.А. 2010.** Техничко-технологическое обеспечение энергетической автономности агроэко системы. Научный вестник Национального университета биоресурсов и природопользования Украины. Серия: «Техника и энергетика АПК» К.: Вып. 144., ч. 4. 303-312. (Украина).
15. **Голуб Г.А., Чуба В.В. 2014.** Эксплуатационные параметры работы двигателя при использовании дизельного биотоплива. Научный вестник Национального университета биоресурсов и природопользования Украины. Серия: «Техника и энергетика АПК» К.: Вып. 196, ч. 1. – 23-31. (Украина).
16. **Голуб Г.А., Чуба В.В. 2014.** Оценка расходов топлива при использовании дизельного биотоплива. Межведомственный тематический научный сборник "Механизация и электрификация сельского хозяйства". Глевах.: Вып. 99. Т.2. – 76-83. (Украина).
17. **Голуб Г.А., Чуба В.В. 2014.** Математическое моделирование эксплуатационных показателей работы машинно-тракторного агрегата на дизельном биотопливе. Научный вестник Национального университета биоресурсов и природопользования Украины. Серия «Техника и энергетика АПК». К.: Вып. 194. ч.1. – 181-187. (Украина).
18. **Кухарец С.Н., Голуб Г.А., Драгнев С.В. 2013.** Обеспечение рационального использования сырья для получения биотоплива в агропромышленном комплексе. Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture. Vol. 15. No 4. – 69–76.
19. **Гречкосий В. 2007.** Влияние биодизеля на двигатель. Механизация с-х. №1. – 22-23. (Украина).
20. **Гуков Я.С. Масло И.П. 2004.** Использование биотоплива в сельском хозяйстве Украины. Научный вестник Национального аграрного университета. Вып.73, Ч.1. – 96-99. (Украина).
21. **Надикто В., Дидур В., Федоренко В. 2008.** Эксплуатационные показатели МТА во время работы на биодизеле. Пропозыция. №4. – 128-132. (Украина).
22. **Семенов В. 2007.** Биодизельное топливо можно использовать при эксплуатации дизельных двигателей. Продовольственная и перерабатывающая промышленность. № 4. – 4-5. (Украина).
23. **Dieter Bockey, Wienke von Schenk. 2005.** Production and marketing in Germany 2005. Union for the Promotion of Oil and Protein Plants. 8.
24. **Фтома О. 2014.** Энергетическая и экономическая эффективность инвестиций в производство рапса и биотоплива. Commission of Motorization and energetics in agriculture. Motrol: Lublin–Rzeszów, Vol.16. No.4. – 61-66.
25. **Knothe G., Gerpen J.V., Krahl J. 2005.** The Biodiesel Handbook. Champaign. Illinois: AOCS Press. – 304.

#### ANALYSIS OF THE PRODUCING BIODIESEL FUEL AND JUSTIFICATION OF BASIC PARAMETERS REACTOR-SEPARATOR

**Summary.** The paper gives the results of a theoretical research on determining the main parameters of a reactor-divider for obtaining diesel fuel from vegetable oils. The hydro-station operation-regimes which provide minimum energy consumption for emulsion mixing have been determined. A number of experiments in three dimension plan of an isolation ward banquet in which the dependence between the power used for mixing, hydropump revolutions, and the diameter of a injector come has been determined. The optimal mixers parameters, which will provide a necessary reaction of methanolysis with a minimum energy consumption have been determined and given.

The obtained biodiesel quality corresponds to the requirements of state standards of Ukraine 6081:2009 as to kinematic elasticity, density as well as to the flash temperature in a closed crucible. The biodiesel obtained can be used in diesel generators of tractors as well as in other mobile machines after some modernization. For non-modernized generators a part of volatile acids methyls in a mineral diesel fuel must not exceed 30%. It has been proved that the lowest indexes of power density of emulsion mixing while producing diesel biofuel in a circulating mixer-divider will range in diameter of an injector cone from 10 to 30mm and will reach minimum index of  $9,8 \text{ Ut/m}^3$  Under a working volume of  $50 \text{ m}^3$  in a circulating mixer-divider. A number of a hydropump revolutions and an injector cone diameter have an essential impact on an actual power, which is used for the emulsion mixing and circulating in a mixer. The angle



of setting the injector doesn't have any impact on energy consumption as well as on mixing and emulsion circulating. A consumed density in the range of hydro-pump revolutions from 800 to 1400 revolutions per minute considerably falls when the injector cone diameter ranges from 9 to 30mm; if the range is from 200 to 800 revolutions per minute and the injector cone diameter ranges from 9 to 30mm, the consumed density remains

practically same. The minimum energy consumption when mixing and emulsion circulating (0,15m<sup>3</sup> in volume) in a circulating mixer CRPR-2 can be achieved under the hydropump P-100 revolutions frequency of 400 revolutions per minute and herewith sufficient emulsion mixing intensity is being provided.

**Key words:** reactor, separator, oil, biodiesel, mixing power.



## УДАРНО-УСТАЛОСТНАЯ И СТАТИЧЕСКАЯ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ КОНСТРУЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОЛОСЫ ПЛАСТИЧНОСТИ У ВЕРШИНЫ ИСХОДНОЙ ТРЕЩИНЫ

*Николай Козут*

*Львовский национальный аграрный университет  
ул. В. Великого, 1, Дубляни, Украина.*

*Nikolay Kohut*

*Lviv National Agrarian University  
V. Velykogo Str. 1, t. Dubljany, Ukraine.*

**Аннотация.** Описаны инженерные методики определения ударно-усталостной прочности  $N_{цикл}$ , ударно-усталостной  $K_{I_{fc}}$  и статической  $K_{Ic}$  трещиностойкости термически упрочненных пружинных сталей 60С2А, 65Г и конструкционной легированной стали 30ХГСА, а также серого СЧ20 и высокопрочного ВЧ50-2 чугунов на образцах, защемленных вблизи бокового концентратора балочных образцов и деформируемых ударно-усталостным консольным изгибом на специальной восьмиместной установке.

Установлено, что максимальные значения усталостной прочности  $N_{цикл}$ , ударно-усталостной  $K_{I_{fc}}$  и статической  $K_{Ic}$  трещиностойкости из исследуемых материалов имеют сталь 30ХГСА, затем – 65Г и 60С2А, далее высокопрочный чугун ВЧ50-2 и СЧ20. Их значения качественно подтверждены деформационными пластическими полосами (изоклинами) на продолжении исходной трещины в материале балки, установленными на шлифах с помощью инструментального микроскопа, которые характеризуют полученные большие значения трещиностойкости  $K_{Ic}$  по сравнению с  $K_{I_{fc}}$  соответственно.

**Ключевые слова:** балка, усталостная прочность, ударно-усталостная и статическая трещиностойкость, напряжения изгиба, пластические полосы, боковая трещина.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ.

Для определения фундаментальных характеристик трещиностойкости металлических материалов в условиях плоской деформации  $K_{Ic}$  или плосконапряженного состояния  $K_c$  служат экспериментальные исследования [1-3], реализуемые на различных типах образцов с исходными трещинами - плоских, балочных, цилиндрических, призматических, дисковых и других [4-7]. Предельное значение коэффициента интенсивности напряжений (КИН) у вершины трещины для заданной схемы деформирования образца определяют с учетом его геометрии (размеров и трещины), а также структурного состояния материала (режимов термообработки, способа получения) та физико-механических свойств (прочности, пластичности). При этом нужно учитывать вид и способ нагружения испытываемого образца.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Трещиностойкость материалов средней и низкой прочности, например - сталей, определяется деформационным критерием [8-13]:  $\delta_c$  – критическим раскрытием трещины, основанным на концепции модели Леонова-Панасюка-Андрейкива и J-интегралом или R-кривыми [14-18]. Использование этих критериев целесообразно в определенной мере для материалов со значительными пластическими деформациями на продолжении фронта исходной трещины.

Вместе с тем, сама концепция контурного энергетического интеграла, сформулированная независимо Черепановым [19, 20] и Райсом [21, 22], нуждается в некоторых доработках [23-25], хотя основные положения и методика проведения исследований методом J-интеграла нашли свое применение в международных стандартах [26-30].

Необходимо отметить, что главной проблемой при реализации таких исследований, является отсутствие единой методики измерения фактического раскрытия трещины  $\delta_c$ . До сих пор не установлено на каком расстоянии от вершины микротрещины (сотые, тысячные миллиметра или диаметр зерна структуры материала), можно корректно определить раскрытие трещины. Так, в работах [31, 32] было показано, что для узких прослоек призматических образцов с трещиной параметр  $\delta_c$  можно подсчитать по формуле:

$$\delta_c = \delta_{пл} - \delta_{упр}, \quad (1)$$

где:  $\delta_{пл}$  – пластическая и  $\delta_{упр}$  – упругая составляющие деформаций при разрушении материала.

В то же время, собственно, методика измерения  $\delta_c$  сложна в реализации, требует жестких испытательных (разрывных) машин, сложную контрольно-измерительную технику (датчики, устройства и аппаратуру), а также весьма трудоемкая технология изготовления опытного образца с исходной трещиной без образования механического наклепа впереди ее фронта. До настоящего времени не выделен эффективный тип испытываемого лабораторного образца и схема его деформирования для достоверного установления истинных значений КИН, например:  $K_I$  – нормальный отрыв,  $K_{II}$  – двиг,  $K_{III}$  – кручение или

параметра  $\delta_c$  для заданного материала, а не для исследуемого образца [33, 34].

В данной статье приведены новые методики определения характеристик трещиностойкости  $K_{Ic}$ ,  $K_{Ijc}$  в условиях квазихрупкого разрушения и параметров пластически-деформированной области, связанных с раскрытием трещины  $\delta_c$  для некоторых конструкционных материалов.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Цель работы – исследовать конструкционные термически упрочненные стали 60С2А, 65Г, 30ХГСА, а также серый СЧ20 и высокопрочный ВЧ50-2 чугуны на балочных образцах, зашпеленных вблизи бокового концентратора и деформированных ударно-усталостным консольным изгибом на специальной установке; определить ударно-усталостную прочность  $N_{цикл}$ , ударно-усталостную трещиностойкость  $K_{Ijc}$ , и статическую трещиностойкость  $K_{Ic}$ , а также выявить пластически-деформированную область (полосы скольжения), формирующуюся впереди раскрытой трещины на боковой поверхности балочного образца.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Для корректного определения характеристики трещиностойкости ( $K_{Ic}$ ) в случае изгиба балочного образца с боковой трещиной, толщина образца должна удовлетворять условию [35]:

$$b \geq 2,5(K_{Ic}/\sigma_{0,2})^2, \quad (2)$$

где:  $\sigma_{0,2}$  – предел текучести материала при условии 2%-ной деформации.

Поскольку у вершины исходной трещины (рис. 1) всегда присутствуют пластические деформации, которые возникают во время деформирования консольным изгибом балочного образца в виде двух полос (изоклин), направленных под углом примерно  $\alpha=72^\circ$  к плоскости трещины, то приблизительно длину пластической области можно вычислить по формуле [36]:

$$l^*=0,184(K_{Ic}/\sigma_{0,2})^2. \quad (3)$$

С учетом размеров балочного образца длину исходной трещины можно найти из равенства:

$$l=h-m, \quad (4)$$

где:  $m$  – высота балки в плоскости боковой трещины;  $h$  – высота балки.

Тогда толщина изоклины:

**Таблица 1.** Режимы термической обработки и механические характеристики призматических балок

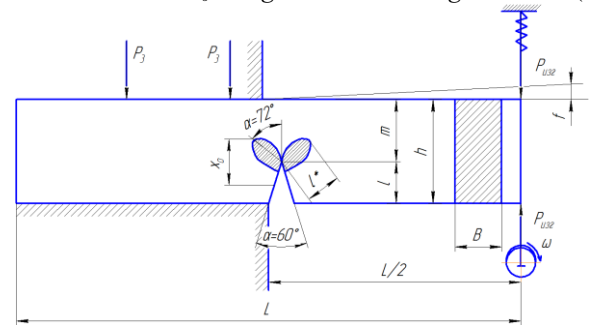
**Table 1.** Heat treatment and mechanical properties of prismatic beams

Марка материала	Режимы термической обработки призматических заготовок	Прочность $\sigma_b$ , МПа	Твердость
Серый чугун СЧ20	Низкотемпературный отжиг после нагрева от 873 К в течении 5–8 ч., охлаждения с печью до 793 °С и последующее охлаждение на воздухе	205	210 HB
Высокопрочный чугун ВЧ50-2	Закалка после нагрева от 1173 К, охлаждение в масле и низкотемпературный отжиг при 773 К в течении 6 ч., охлаждение с печью до 473 К и последующее охлаждение на воздухе	380	225 HB
Сталь 60С2А	Закалка после нагрева от 1193 К, охлаждение в масле и отпуск при 673 К в течении 2 ч.	1580	54 HRC
Сталь 65Г	Закалка после нагрева от 1153 К, охлаждение в масле и отпуск при 773 К в течении 2 ч.	1630	48 HRC
Сталь 30ХГСА	Закалка после нагрева от 1225 К, охлаждение в масле и отпуск при 723 К в течении 2 ч.	1695	42 HRC

$$x_0=0,035m. \quad (5)$$

Если принять расчетное  $B=20$  мм и оптимальный относительный размер боковой трещины  $\lambda=m/h=0,7$ , то можно определить длину пластической области  $l^*$  и толщину  $B$  балочного образца, исходя из соотношения:

$$l^*=x_0 \cdot \lambda \cdot b \cdot \operatorname{tg} 72^\circ = 0,35 \cdot 0,7 \cdot b \cdot \operatorname{tg} 72^\circ. \quad (6)$$



**Рис. 1.** Схема ударно-усталостного деформирования консольным изгибом балки, зашпеленной вблизи бокового концентратора, и параметры пластически-деформируемой области в вершине исходной трещины

**Fig. 1.** Driving shock fatigue deformation scheme of cantilever bending beam clamped near the hub side and the parameters of the plastically deformable region at the top of the initial crack

Если для полученного  $B = 21$  мм выполняются условия автомодельности зоны предразрушения [37], то тогда характеристика  $K_c = K_{Ic}$ , следовательно толщина балки  $B$  – достаточная для испытываемого образца. В случае неудовлетворения условий автомодельности толщину балочного образца нужно увеличить.

В качестве исследуемых материалов выбраны серый чугун СЧ20 после низкотемпературного отжига с феррито-перлитной структурой та пластической формой графита и для сравнения высокопрочный чугун ВЧ50-2, модифицированный магнием с добавками кремния также после низкотемпературного отжига, в котором графит в структуре имеет глобулярную форму небольших размеров.

Кроме чугунов использованы термически упрочненные пружинные стали 60С2А, 65Г и конструкционная легированная сталь 30ХГСА.

Режимы термической обработки перечисленных материалов, выполненные на призматических заготовках (200x36x26 мм), представлены в табл. 1.

Грани призматических заготовок подвергали механическому разрезанию, фрезерованию и шлифованию. Посередине полученного образца наносили боковой концентратор шириной 3 мм и глубиной 8 мм. Финишным шлифованием концентратора шлифовальным кругом с V-образным углом заточки  $\alpha = 60^\circ$  и остротой  $\rho \leq 0,1$  мм глубину концентратора доводили до 10 мм (рис. 2).

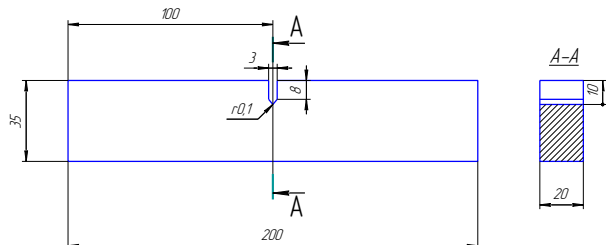


Рис. 2. Геометрические размеры балочного образца с боковым концентратором

Fig. 2. The geometrical dimensions of the sample beam side hub

Оптимальный прогиб  $f$  на консоли балки (рис. 1) и напряжения  $\sigma$ , которые возникают у дна концентратора в процессе ударно-усталостного деформирования можно подсчитать определив усилие изгиба  $P_{изг}$  на консоли балки через ее геометрические размеры и модуль упругости по формуле:

$$P_{изг} = \frac{Eh^3bf}{L^2} \quad (7)$$

Тогда максимальные напряжения, которые возникают у дна концентратора вблизи защемления балки будут равны:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max}}{W_{max}} = \frac{6PL}{h^2b} \quad (8)$$

Где:  $M_{max}$ ,  $W_{max}$  – моменты изгиба и сопротивления балки соответственно.

Подставляя (8) в (7), получим максимальные напряжения для балки с концентратором:

$$\sigma_{max} = \frac{3Efh}{2L^2}, \text{ откуда } f = \frac{2L^2\sigma_{max}}{3Eh} \quad (9)$$

Если задать размеры балки:  $b=20$  мм,  $h=35$  мм,  $\rho=0,1$  мм,  $L=100$  мм, предел текучести стали 60С2А  $\sigma_\tau=1180$  МПа, модуль упругости  $E=2,1 \cdot 10^6$  МПа и подставить эти значения в (9), то получим прогиб  $f=1,0$  мм, который обеспечит достаточные условия деформирования балки без наклепа, а значит получить фактическое значение  $K_{1с}$  этой стали.

Для реализации ударно-усталостного деформирования балочных образцов с боковым концентратором (рис. 2), изготовленных из перечисленных материалов и режимов (табл. 1), воспользовались специальной восьмиместной установкой [38], из которой показан узел базирования и ударно-усталостного консольного деформирования балочного образца (рис. 3), для которого усилие нагружения задавали от эксцентрикового распределительного вала и толкателя-датчика, установленных на базе

блока двигателя внутреннего сгорания автомобиля ЗИЛ-131.

Экспериментальные исследования провели на стадии инициирования ударно-усталостных трещин, базирова балки концентратором вниз по жесткой схеме (рис. 3). Нагружение балок задавали двумя режимами деформирования при прогибах  $f=2$  мм и  $f=1$  мм для сталей 30ХГСА, 65Г, 60С2А. Нагружение образцов высокопрочного ВЧ50-2 и серого СЧ20 чугунов осуществляли при прогибах  $f=0,6$  мм и  $f=0,3$  мм соответственно.

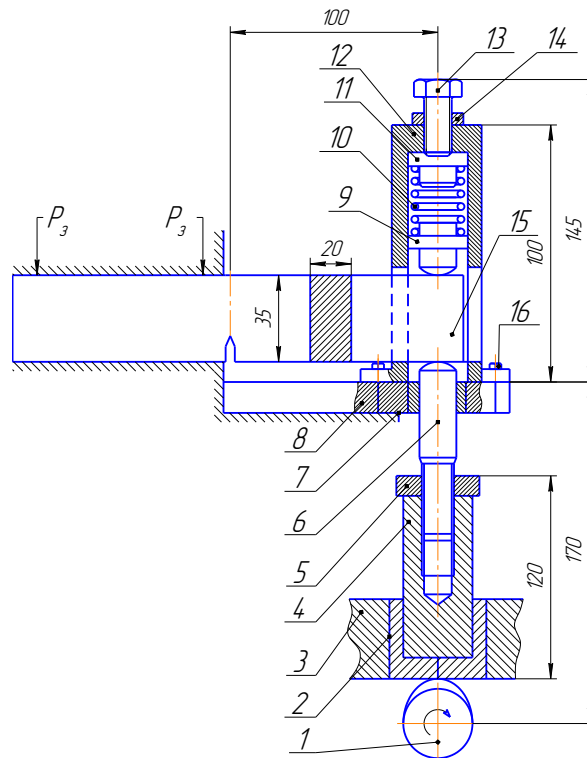
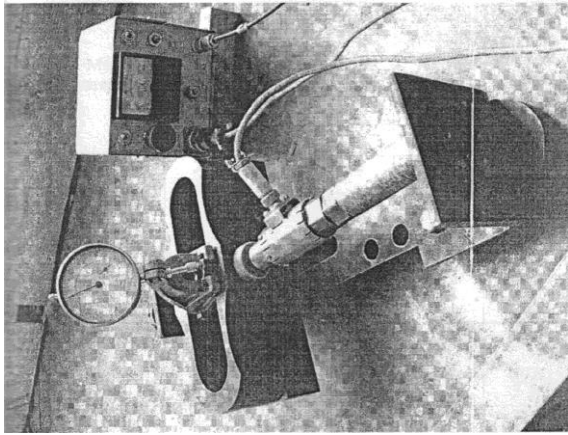


Рис. 3. Общий вид узла ударно-усталостного консольного деформирования балочного образца с концентратором: 1 – эксцентриковый распределительный вал; 2 – стакан; 3 – корпус блока; 4, 6 – толкатель с датчиком; 5 – фиксирующая гайка; 7 – бронзовая втулка; 8 – плита; 9 – подпятник; 10 – пружина; 11 – пробка; 12 – колпак специальный; 13 – болт зажимной; 14 – гайка; 15 – призматический образец; 16 – болт затяжной; детали 5, 6, 9 – термически упрочнены

Fig. 3. General view of a shock-fatigue cantilever beam deformation of the sample concentrator: 1 – eccentric camshaft; 2 – glass; 3 – unit housing; 4, 6 – plunger sensor; 5 – locking nut; 7 – bronze bushing; 8 – a plate; 9 – thrust bearing; 10 – a spring; 11 – a stopper; 12 – cap specialty; 13 – a bolt of clamping; 14 – a nut; 15 – prismatic pattern; 16 – a bolt of protracted; items 5, 6, 9 – thermally hardened

Усилие зажима балок со всех сторон (сверху и сбоку) для исследуемых материалов контролировали ручным динамометром силы, которое было максимально:  $P_3 = 20$ кН. Усилия изгиба  $P_{изг}$  балки на консоли определяли путем тарировки датчика – толкателя с помощью динамометра силы и контрольно-измерительного прибора (рис. 4). Период и частота

цикла ударно-усталостного нагружения балки на указанной установке составляли:  $T=60 / n=0,857$  с;  $a=n/60=1.666$  с<sup>-1</sup>.



**Рис. 4.** Общий вид тарировочной системы (динамометра, контрольно-измерительного прибора и датчика-толкателя) для проведения ударно-усталостного деформирования балки с боковым концентратором консольным изгибом

**Fig. 4.** General view of the calibration of the system (dynamometer test instrument and sensor-pusher) for shock fatigue deformation of beams with lateral cantilever bending Hub

В процессе экспериментов фиксировали суммарное количество циклов  $N_{цикл}$  на зарождение и распространение трещины в тело балок с помощью счетчика установки, а длину инициированной трещины  $l$  устанавливали по объективу катетометра КТМ-8-630, наведенному в острие дна концентратора со стороны боковой грани балки.

Полученные результаты для двух режимов ударно-усталостного консольного деформирования балочных образцов с боковым концентратором сведены в табл. 2.

Как видно из табл. 2, максимальную ударно-усталостную прочность  $N_{цикл}$  имеет 30ХГСА независимо от режима деформирования балки с боковым концентратором, промежуточную – 65Г и минимальную - 60С2А. Что касается ударно-усталостной прочности серого и высокопрочного чугунов, то предпочтение следует отдать высокопрочному чугуну ВЧ50-2 по сравнению с серым СЧ20, незави-

симо от того, что они имеют практически одинаковую твердость (табл. 2).

Ударно-усталостную трещиностойкость  $K_{Ifc}$  по схеме консольного изгиба балочных образцов с боковым концентратором ( $p \leq 0,1$  мм) для исследуемых материалов после термического упрочнения (табл. 1) и деформированных при фиксированном прогибе  $f=2$  мм подсчитывали по формулам [39]:

$$K_{Ifc} = \frac{Ef}{\sqrt{f}} F(\varepsilon, \varepsilon_1), \quad (10)$$

$$\text{где: } F(\varepsilon, \varepsilon_1) = \frac{5147\sqrt{\varepsilon} \left[ \sqrt{\frac{1}{(1-\varepsilon)^2} - 1 + \sqrt{2,589\varepsilon_1}} \right]^{-2}}{\varepsilon_1 (1-\varepsilon)^{3/2} \sqrt{1+7,9927\varepsilon}}$$

Здесь  $E = 2,1 \cdot 10^6$  МПа и  $E = 2,1 \cdot 10^5$  МПа;  $E$  – модуль упругости стали и чугуна соответственно;  $\varepsilon_1 = L/h = 85/35 = 2,3$  ( $L$  – длина балки от точки приложения силы изгиба на консоли к месту концентратора,  $h$  – высота балочного образца);  $F(\varepsilon, \varepsilon_1)$  – безразмерная функция, учитывающая зависимость прогиба  $f$  от параметров ( $\varepsilon, \varepsilon_1$ ). Относительный размер трещины  $\varepsilon$  находился в пределах от  $\varepsilon = l/h = 10,4/35 = 0,29$  до  $\varepsilon = l/h = 11,5/35 = 0,32$  ( $l$  – длина исходной трещины в балочном образце).

Значения  $K_{Ifc}$  для исследуемых сталей и чугунов, подсчитанные по (10, 11) сведены в табл. 3, которые характеризуют средние значения  $K_{Ifc}$  после испытаний 3-х образцов для каждой партии исследуемых материалов.

Как видно из данных табл. 3, максимальную ударно-усталостную трещиностойкость  $K_{Ifc}$  имеет 30ХГСА, несколько меньше - 65Г и минимальную - 60С2А, что можно объяснить различными физико-механическими свойствами ( $\sigma_v, HRC$ ) этих сталей, а также высокой склонностью к хрупкому разрушению 60С2А, связанными со структурными изменениями для заданных режимов термического упрочнения после среднего отпуска.

Значение ударно-усталостной трещиностойкости  $K_{Ifc}$  для серого чугуна СЧ20 с высоким содержанием пластинчатого графита меньше, чем у высокопрочного чугуна ВЧ50-2 (табл. 3). Высокая ударно-усталостная трещиностойкость ВЧ50-2 объясняется модифицированием магнием с добавками кремния, а также повышенным содержанием феррита и перлита в его структуре.

**Таблица 2.** Ударно-усталостная прочность чугунов и сталей

**Table 2.** Shock-fatigue strength cast irons and steels

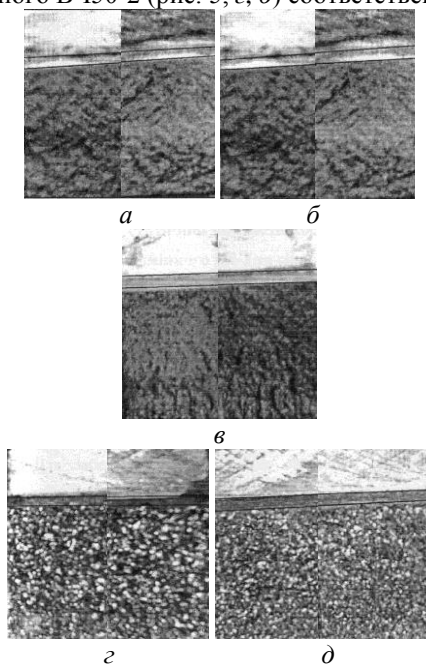
№ п/п	Марки материалов	Прогиб на консоли балки $f$ , мм	Твердость балок		Количество циклов деформирования балки, $N_{цикл}$	Глубина образовавшейся трещины в балке $l$ , мм
			HB	HRC		
1	СЧ20	0,6	210		289	12,8
		0,3				
2	ВЧ50-2	0,6	220		1075	12,4
		0,3				
3	60С2А	2,0		52	1450	19,9
		1,0				
4	65Г	2,0		46	3620	17,7
		1,0				
5	30ХГСА	2,0		40	4080	11,7
		1,0				

**Таблица 3.** Ударно-усталостная и статическая трещиностойкость чугунов и сталей.  
**Table 3.** Shock-fatigue and static fracture toughness of cast irons and steels.

№ п/п	Марки материалов	Прогиб на консоли балки $f$ , мм	Относительные параметры балок		Трещиностойкость, МПа $\sqrt{м}$	
			$\varepsilon = l/h$	$\varepsilon_1 = L/h$	$K_{Ifc}$	$K_{Ic}$
1	СЧ20	0,6	0,31	2,3	8,8	10,8
2	ВЧ50-2	0,6	0,31	2,3	12,6	13,9
3	60С2А	2,0	0,31	2,3	38,7	45,4
4	65Г	2,0	0,32	2,3	50,8	57,2
5	30ХГСА	2,0	0,29	2,3	79,2	84,5

Макроизломы образцов сталей 60С2А и 65Г после конечного статического разрушения свидетельствуют о хрупком разрушении, а образцов из стали 30ХГСА о квазихрупком разрушении (рис. 5, а, б, в) соответственно.

Макроизломы чугунных образцов после конечного статического разрушения свидетельствуют только о хрупком разрушении, причем с имеющейся большей зернистостью в серого СЧ20, чем у высокопрочного ВЧ50-2 (рис. 5, з, д) соответственно.



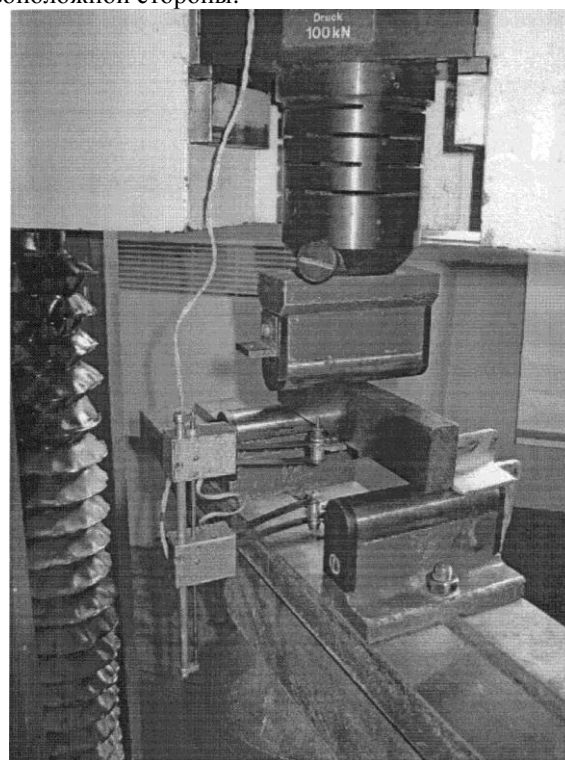
**Рис. 5.** Макроизломы балочных образцов после ударно-усталостного и конечного статического разрушения: а – 30ХГСА; б – 65Г; в – 60С2А; з – СЧ20; д – ВЧ50-2

**Fig. 5.** Makroizlomly beam samples after shock fatigue and ultimate static destruction: а – 30ХГСА; б – 65Г; в – 60С2А; з – СЧ20; д – ВЧ50-2

Образец-балку (рис. 2) устанавливали в специальное устройство для реализации чистого трехточечного изгиба, базируя его на роликовые опоры так, чтобы центральный роликовый нож был размещен по середине его длины с противоположной стороны от концентратора – трещины (рис. 6).

Для обеспечения устойчивости балки при статической нагрузке сосредоточенным изгибом на одном конце устройства к бокам опоры прикрепляли две планки, которые в зависимости от высоты и толщины балки регулировали вручную.

Перед началом проведения экспериментов выполнили тарирование деформирующего ножа динамометром силы, который устанавливали под ролик ножа и к шарик, опирающемуся на поверхности балки в плоскости боковой трещины. Прогиб балки от поперечной силы изгиба измеряли индикатором часового типа, закрепленным в устройстве так, чтобы его ножка касалась поверхности балки с противоположной стороны.



**Рис. 6.** Общий вид базирующего устройства трехточечным изгибом для балочного образца с боковой трещиной

**Fig. 6.** The general view is based device for three-point bending beam specimen with lateral crack

Статический трехточечный изгиб балочных образцов с боковой трещиной выполнили на разрывной машине «Инстрон» со скоростью перемещения ее траверсы и ходового винта при деформировании  $V = 1,0$  мм/мин.

В результате на экране осциллографа (С1-86) записывали диаграмму разрушения в координатах  $(P - f)$ , где  $P$  – разрушающее усилие изгиба балки;  $f$  – прогиб до разрушения балки.

Статическую трещиностойкость  $K_{Ic}$  по схеме

трехточечного изгиба балочных образцов с боковой трещиной (рис. 6) для исследуемых материалов подсчитывали по формуле [39]:

$$K_{Ic} = \frac{11,9274P \frac{L}{2} \sqrt{\varepsilon}}{bh\sqrt{h(1-\varepsilon)} \frac{3}{2} \sqrt{1+7,9927\varepsilon}}, \quad (11)$$

где:  $P$  – разрушающее усилие изгиба, приложенное по середине балки;  $h$ ,  $b$  – высота и толщина балки соответственно;  $L/2$  – половина длины балки до места приложения усилия изгиба;  $\varepsilon=l/h$  – относительный размер боковой трещины в балочном образце;  $l$  – длина боковой трещины вместе с глубиной концентратора.

Значения  $K_{Ic}$ , посчитанные по формуле (10) после разрушения балочных образцов с боковой трещиной по схеме трехточечного изгиба для исследуемых материалов, сведены в табл. 3.

Как видно из сравнения (табл. 3) значения  $K_{Ic}$  для сталей 30ХГСА, 65Г, 60С2А и чугунов ВЧ50-2 и СЧ20 распределились в аналогичной последовательности со значениями  $K_{Ijc}$ . Меньшие значения  $K_{Ijc}$  от  $K_{Ic}$  независимо от марок исследуемых материалов можно объяснить жестким ударно-усталостным консольным изгибом балки, защемленной вблизи боковой трещины по сравнению с мягким статическим трехточечным изгибом этой балки. На уменьшение значений  $K_{Ijc}$  по сравнению с  $K_{Ic}$  влияет также жесткое защемление балки в приспособлении вблизи концентратора. Можно полагать, что возникшие напряжения от такого защемления накладываются на напряжения от ударно-усталостного деформирования, которые совместно облегчают процесс зарождения и распространения боковой трещины в материале образца.

Для доказательства изложенного, на двух образцах с трещинами после двух видов деформирования провели подготовительные работы по изготовлению шлифов для дальнейших микроструктурных исследований. В результате, пластически деформированные полосы (изоклины) выявили на микроскопе МИМ-8 после травления шлифов 4-х %ным раствором пикриновой кислоты, нанесенной в окле вершины трещины со стороны боковой поверхности балок.

Таким образом было доказано, что ударно-усталостное деформирование образца-балки консольным изгибом способствует формированию меньших размеров пластических полос (изоклины) впереди фронта трещины по сравнению со статическим изгибом аналогичного образца (рис. 7 а, б), что также подтверждают полученные значения  $K_{Ic}$  и  $K_{Ijc}$ , например, для стали 30ХГСА.

Необходимо также отметить, что приведенные результаты исследований по  $K_{Ic}$  и  $K_{Ijc}$  коррелируют с данными [40], установленными для аналогичных термоупрочненных материалов, что еще раз подтверждает эффективность применения разработанных методик для оценки конструкционных материалов с позиции трещиностойкости, т.е. тогда, когда они ослаблены дефектами типа трещин.

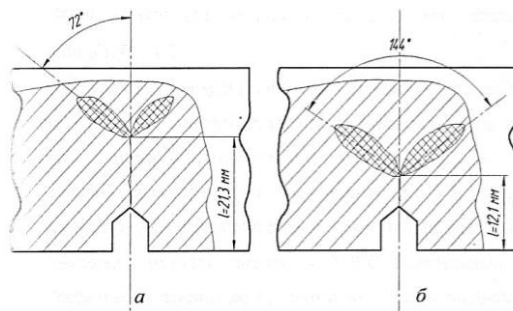


Рис. 7. Формы и размеры пластических полос после ударно-усталостного консольного изгиба (а) и статического трехточечного изгиба (б) балочных образцов с боковой трещиной для стали 30ХГСА.

Fig. 7. The shapes and sizes of plastic strips after shock fatigue cantilever bend (a) and static three-point bending (b) of beam patterns with lateral crack 30ХГСА for steel

## ВЫВОДЫ

1. Разработаны инженерные методики и соответствующие устройства, приспособленная, контрольно-измерительные устройства для определения ударно-усталостной прочности  $N_{цикл}$ , ударно-усталостной  $K_{Ijc}$  и статической  $K_{Ic}$  трещиностойкости пружинных сталей 60С2А, 65Г и конструкционной легированной стали 30ХГСА, а также серого СЧ20 и высокопрочного ВЧ50-2 чугунов на балочных образцах, защемленных вблизи бокового концентратора и деформируемых ударно-усталостным консольным изгибом на специальной восьмиместной установке.

2. Установлено количественное ранжирование перечисленных материалов, которое выразилось максимальными значениями  $N_{цикл}$ ,  $K_{Ijc}$  и  $K_{Ic}$  для стали 30ХГСА, средними – 65Г и минимальными – 60С2А. Большими значениями  $N_{цикл}$ ,  $K_{Ijc}$  и  $K_{Ic}$  обладает также высокопрочный чугун ВЧ50-2 по сравнению с серым чугуном СЧ20.

3. На примере стали 30ХГСА показано, что форму и размеры полос пластичности на продолжении исходной трещины можно выявлять на инструментальном микроскопе путем травления шлифов 4%-ным раствором пикриновой кислоты, нанесенным в окле вершины трещины со стороны боковой поверхности балочного образца, которые качественно подтверждают полученное большее значение трещиностойкости  $K_{Ic}$  по сравнению с значением  $K_{Ijc}$  соответственно.

4. Из анализа разрушений балочных образцов с трещинами, а также результатов трещиностойкости ( $N_{цикл}$ ,  $K_{Ijc}$  и  $K_{Ic}$ ) для исследуемых материалов установлено, что наиболее склонными к хрупкому разрушению есть пружинная сталь 60С2А и серый чугун СЧ20. Следовательно, для изготовления ответственных деталей техники, работающих в жестких ударно-усталостных и статических нагрузениях, нужно рекомендовать из исследуемых сталей – термически упрочненную сталь 30ХГСА (нагрев от 1225К, охлаждение в масле и отпуск при 773К в течении 2ч.); из исследуемых чугунов – термически упрочненный высокопрочный чугун ВЧ50-2 (нагрев от 1173К, отжиг при 773К в течении 6 ч., охлажде-



ние с печью до 473К и последующие охлаждение на воздухе).

5. Несмотря на успехи развития механики разрушения конструкционных материалов, которая превратилась в самостоятельный раздел механики деформируемого твердого тела (см. литературный обзор), их несущая способность с точки зрения повреждаемости и разрушений будут зависеть от различных факторов: режимов и способов деформирования исследуемого образца (жесткого, мягкого), марки самого материала, его качества (режимов термообработки и структурного состояния), а поэтому для практики их нужно учитывать в комплексе.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Когут Н.С. 2008.** Трещиностойкость конструкционных материалов и их сварных соединений с наплавками / Н.С. Когут, Н.Н. Лебидь. – Львов: Арал. – 287. (Украина).
2. **Махненко В. И. 1982.** Применение критериев механики разрушения к расчету на прочность сварных соединений с предусмотренными несплошностями трещиноподобного типа / В.И. Махненко, В. Е. Починок // Автоматическая сварка. – № 1. – 1 – 6.
3. **Когут Н.С. 2012.** Определение трещиностойкости ( $K_{Ic}$ ) металла шва стальной термонапряженной арматуры на цилиндрическом образце с кольцевой трещиной / Н.С. Когут, Р.В. Гуменюк // MOTROL. Commission of Motorisation and energetics in agriculture. – Vol. 14, №4. – 28-31. (Украина).
4. **Когут Н.С. 2003.** Оценка прочности стыковых сварных соединений из стали 50 по критериям трещиностойкости [Н.С. Когут, В.С. Караим, Н.Н. Лебидь, О.И. Панько] // Проблемы прочности. – № 2. – 147–155.
5. **Когут Н.С. 2014.** Влияние технологических факторов на изменения трещиностойкости термонапряженной арматуры / Н.С. Когут, Р.В. Гуменюк // MOTROL. Commission of Motorisation and energetics in agriculture. – Vol. 16, №4. – 189-192.
6. **Серенсен С.В. 1975.** Критическое раскрытие трещины при квазихрупком и хрупком разрушении [С.В. Серенсен, В.С. Гиренко, В.И. Дейнега] // Автоматическая сварка. – № 2. – 1-6.
7. **Kohut M.S. 1993.** Fracture toughness of structural materials and their weld joints / M.S. Kohut, V.A. Shabairovych // Fracture mechanics successes and problems. Collection of Abstracts. Part II. ICF-. Kiev. – 603-604.
8. **Николс Р. 1972.** Оценка сопротивления материалов разрушению по критическому раскрытию трещин / Р. Николс. – Новые методы оценки сопротивления материалов хрупкому разрушению. – М.: Мир, – 11 - 18.
9. **Панасюк В.В. 1975.** К теории определения критического раскрытия трещины / В.В. Панасюк, А. Е. Андрейкив. – Механика деформируемых тел и конструкций. – М.: Машиностроение. – 373 - 378.
10. **Панасюк В.В. 1990.** Определение величины раскрытия вершины трещины в упругопластических телах / В.В. Панасюк, А.Е. Андрейкив, М.М. Стадних // Физико-химическая механика материалов. – № 6. – 53-61. (Украина).
11. **Писаренко Г.С. 1982.** Экспериментальные методы в механике разрушения материалов / Г.С. Писаренко, В.П. Науменко // Физико-химическая механика материалов. – № 2. – 28 - 41.
12. **Писаренко Г.С. 1986.** Экспериментальные методы в механике деформируемого твердого тела / Г.С. Писаренко, В.А. Стрижало – К.: Наукова думка. – 264.
13. **Пустовой В.Н. 1992.** Исследование работоспособности элементов конструкций в рамках КРТ-критерия / В.Н. Пустовой // Физико-химическая механика материалов. – № 3. – 111-112.
14. **Ильин А.В. 1992.** Метод определения критического значения J-интеграла в условиях стабильного роста трещин / А.В. Ильин, Ю.А. Никонов, Д.В. Прохоров // Проблемы прочности. – № 3. – 18 - 25.
15. **Нешпор Г.С. 1986.** Применение R-кривой для оценки вязкого разрушения / Г.С. Нешпор, Г.Д. Кудрявцева // Заводская лаборатория. – № 4. – 55 - 58.
16. **Писаренко Г.С. 1978.** Определение трещиностойкости материалов на основе энергетического контурного интеграла / Г.С. Писаренко, В.П. Науменко, Г.С. Волков. – К.: Наукова думка. – 123.
17. **Смоленцев В.И. 1979.** Метод определения J-интеграла и его составляющих / В.И. Смоленцев // Заводская лаборатория. – № 1. – 73 - 76.
18. **Begley J.A. 1977.** The J-integral as a fracture criterion / J.A. Begley, I.D. Landes. – Fracture Toughness // ASTM STP 514. – 1 - 23.
19. **Черепанов Г.П. 1974.** Механика хрупкого разрушения / Г.П. Черепанов. – М.: Наука, – 640.
20. **Черепанов Г.П. 1987.** Современные проблемы механики разрушения / Г.П. Черепанов // Проблемы прочности. – № 8. – 3 - 13.
21. **Rice J. R. 1968.** A path independent integral and the approximate allusion of strain concentration by notches and cracks / J.R. Rice // J. Appl. Mech., Ser. E. – No. 35. – 287 - 298.
22. **Rice J. R. 1973.** Some further results of J-integral analysis and progress in flow growth and fracture toughness testing / J.R. Rice, P.C. Paris, J.G. Merkle // ASTM STP 536. – 231 - 245.
23. **Георгиев М.Н. 1980.** О достоверности определения  $K_{Ic}$  с помощью J-интеграла / М.Н. Георгиев, Е.М. Морозов // Заводская лаборатория. – № 3. – 273 - 277.
24. **Маркочев В.М. 1978.** Работа разрушения и работа пластической деформации в испытаниях на вязкость разрушения / В.М. Маркочев, Е.М. Морозов // Физико-химическая механика материалов. – № 6. – 71 - 74.

25. **Романив О. Н. 1978.** Использование метода J-интеграла для оценки трещиностойкости конструкционных материалов / О.Н. Романив, Г.Н. Никифорчин // Физико-химическая механика материалов. - № 3. - 80 - 95.
26. ISME 5.001-1981. Method of Elastic-Plastic Fracture Toughness Testing  $J_{Ic}$ . Japanese Society for Mechanical Engineers, 1981. - 15.
27. Standard Test Method for  $J_{Ic}$ . A Measure of Fracture Toughness // ASNI/ ASTM E. - 1981. - No. 813. - 10.
28. SINTAP defect assessment procedure for strength mis-matched structures // Eng. Fract. Mech. - 2000. - 67, No. 6. - 529 - 546.
29. The engineering treatment model // Int. J. Press. Vess. Piping. - 2000. - 77. 905 - 981.
30. Fracture mechanics analysis of the BIMET welded pipe tests // Ibid. - 2004. No 81. - 251 - 277.
31. **Когут Н.С. 1999.** Определение трещиностойкости сварных соединений многократным испытанием призматического образца с боковой трещиной / Н.С. Когут // Вестник НУ "Львовская политехника" "Оптимизация производственных процессов и технический контроль в машиностроении и приборостроении". - Вып. № 371. - 79 - 82. (Украина).
32. **Лебедь Н.Н. 1999.** Оценка трещиностойкости сварных соединений из квазихрупких и вязких материалов по критерию критического раскрытия трещины / Н.Н. Лебедь, К.Н. Русинко // Вестник НУ "Львовская политехника" "Оптимизация производственных процессов и технический контроль в машиностроении и приборостроении". - Вып. № 371. - 65 - 71. (Украина).
33. **Панасюк В.В. 1977.** Методы оценки трещиностойкости конструкционных материалов / В.В. Панасюк, А.Е. Андрейкив, С.Е. Ковчик. - К.: Наукова думка. - 276.
34. **Панасюк В.В. 1991.** Механика квазихрупкого разрушения материалов / В.В. Панасюк. - К.: Наукова думка. - 415.
35. ГОСТ 25.506-85. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. - М.: Изд-во стандартов, 1985. - 61.
36. **Когут Н.С. 1986.** Трещиностойкость конструкционных материалов / Н.С. Когут // - Львов: Вища школа. - 160.
37. **Андрейкив А.Е. 1982.** Пространственные задачи теории трещин / А.Е. Андрейкив // - К.: Наукова думка. - 348.
38. **Караим В.С. 2001.** Установка для ударно-усталостных испытаний балочных образцов изгибом на консоли / В.С. Караим, Н.С. Когут // Вестник НУ «Львовская политехника»: Оптимизация производственных процессов и технический контроль в машиностроении и приборостроении. - Вып. № 422. - 56-61. (Украина).
39. **Панько И.Н. 2000.** Теоретические основы инженерных методов для оценки трещиностойкости материалов и инженерных конструкций / И.Н. Панько. - Львов, Издательский центр Львовского национального университета имени Ивана Франко. - 279. (Украина).
40. **Буртак В.В. 2012.** Обоснование параметров рабочих элементов и выбор материалов по трещиностойкости для зерновых дробилок ударно-перетирающего действия / В.В. Буртак // Автореферат дис. канд. техн. наук. - Львов: Львовский национальный аграрный университет. - 20. (Украина).

THE SHOCK-FATIGUE AND STATIC CRACK  
RESISTANCE OF METAL CONSTRUCTION  
MATERIALS AND THE CRACK TIP PLASTICITY  
STRIPS

**Summary.** Described are the engineering methods for determining the shock-fatigue strength  $N_{sikl}$ , shock-fatigue  $K_{Ifc}$  and static  $K_{Ic}$  crack resistance of thermally strengthened spring steel 60C2A, 65Г, and structural steel alloy 30ХГСА, as well as gray СЧ20 and high-duty ВЧ50-2 cast iron on specimens jammed near the side hub of beam specimens which underwent deformation by the shock-fatigue console bending using special multi-unit installation equipment.

Established results of the fatigue strength  $N_{цикл}$ , shock-fatigue  $K_{Ifc}$  and static  $K_{Ic}$  crack resistance showed the highest values for steel 30ХГСА, then next - steel 65Г и 60C2A, and lowest – cast iron ВЧ50-2 and СЧ20.

Their values are qualitatively confirmed by plastic deformation bands (isoclines) on the extension of the initial cracks, mounted on the tool microscope which qualitatively confirm obtained higher values of fracture toughness compared to  $K_{Ic}$   $K_{Ifc}$  respectively.

From the analysis of the destruction beam specimens with cracks, as well as the results of fracture toughness ( $N_{sikl}$ ,  $K_{Ifc}$  and  $K_{Ic}$ ) for study materials found to be the most prone to brittle fracture has 60C2A spring steel and cast iron СЧ20. Consequently, for the manufacture of critical parts of equipment operating in hard shock fatigue and static loading should be encouraged from the studied steels - heat-hardened steel 30ХГСА (heating from 1225K, cooling in oil and tempering at 773K during 2 hours.); of the studied iron – heat-strengthened ductile iron ВЧ50-2 (heating from 1173K, annealing at 773K during 6 hrs., Furnace cooling to 473K and subsequent air cooling).

Despite the progress of fracture mechanics of construction materials, which has become an independent branch of solid mechanics (see. Literary Review), their carrying capacity in terms of damage and destruction will depend on various factors, modes and methods of deformation of the test sample (hard , soft), the brand of the material, its quality (heat treatment regimes and structural state), and therefore the practice they need to be taken into account in the complex.

**Key words:** beam, fatigue resistance, shock-fatigue and static crack resistance, profile of the diffraction line, bending stress, plastic strips, lateral fissure.

## ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ОСНАЩЕННОСТИ ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВ

*Василь Липчук, Инна Жаловага*

*Львовский национальный аграрный университет*

*ул. В. Великого, 1, Дубляни, Украина. E-mail: madam.inna888@mail.ru*

*Vasyl Lypchuk, Inna Zhalovaha*

*Lviv National Agrarian University*

*V. Velykogo Str. 1, t. Dubljany, Ukraine. E-mail: madam.inna888@mail.ru*

**Аннотация.** Представлены основные результаты исследования технической оснащённости фермерских хозяйств и факторов ее формирования. Отмечены особенности формирования обеспеченности фермерских хозяйств техническими средствами. Основное внимание уделено размерам площадей землепользования, финансовым результатам, как источнику формирования инвестиционного фонда, и условиям хозяйства. Сделано вывод, что отмеченные факторы не всегда являются определяющими в формировании технической базы фермерских хозяйств, что требует поиска возможностей как эффективного использования имеющихся технических средств, так и обоснованной политики их приобретения.

**Ключевые слова:** фермерские хозяйства, техническая оснащённость, экономическая эффективность.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Деятельность фермерских хозяйств на рынке сельскохозяйственной продукции и эффективность их функционирования определяются совокупностью факторов, среди которых важное место принадлежит их технической оснащённости. Традиционно она формируется в зависимости от финансовых возможностей хозяйствующих субъектов и производственных потребностей, которые определяются целями деятельности, избранными стратегиями и необходимостью эффективного использования имеющегося потенциала. Трансформационные изменения в организационном построении сельского хозяйства, растущая конкуренция на рынке сельскохозяйственной продукции и рынка ресурсов (прежде всего земельных), требуют определенной перереоценки системы ключевых факторов формирования технической оснащённости субъектов хозяйствования в сельском хозяйстве, в том числе и фермерских хозяйств.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Проблема технической оснащённости фермерских хозяйств достаточно широко освещается в отечественной экономической литературе [2, 6, 10, 15]. При этом аксиомой стало, что основными факторами, влияющими на техническую обеспеченность

субъектов хозяйствования в сельском хозяйстве, являются площади их землепользования и инвестиционные возможности. Аналогичного мнения придерживаются и польские экономисты [5, 14, 17, 18].

Проблема технической оснащённости фермерских хозяйств имеет несколько аспектов и связанная с ограниченными возможностями фермера для приобретения техники из-за отсутствия необходимых мощностей для ее производства в Украине; экономической целесообразностью; отсутствием средств у крестьян для приобретения отечественной или зарубежной техники и ограничениями социально-психологического характера, в частности низким квалификационным уровнем фермеров, ухудшением их возрастной структуры, бытующим сельским образом жизни, менталитетом и традициями местного населения [11].

Все это требует достаточно обоснованного подхода в отношении всего процесса воспроизводства технических средств в фермерских хозяйствах, в частности процесса их приобретения.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Оценить достоверность утверждений относительно ключевых факторов технической обеспеченности фермерских хозяйств в последние годы на примере конкретного региона.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Сущность фермерского хозяйства как предпринимательской деятельности граждан, изъявивших желание производить товарную сельскохозяйственную продукцию, осуществлять ее переработку и реализацию с целью получения прибыли на земельных участках, предоставленных им для ведения фермерского хозяйства [9], а также такие принципы организации и деятельности фермерских хозяйств как добровольность создания хозяйства, самостоятельное формирование программы деятельности, свободный выбор ее видов, самостоятельный выбор форм землепользования, полная экономическая и юридическая ответственность за результаты хозяйственной деятельности [13] являются определяющими в формировании ресурсного потенциала конкретного хозяйства, уровня его оснащённости и использования. Ключевое влияние на различия в уров-

нях их формирования ресурсов и их использования имеют региональные условия.

В частности, в Волынской области сельское хозяйство является одной из основных отраслей материального производства, однако фермерство по сравнению с другими регионами Украины, развито слабо. В частности, доля фермеров в общей площади сельскохозяйственных угодий составляла на начало 2015 только 4,7%. В пределах 4-5% в последние годы колеблется и доля фермеров в стоимости произведенной сельскохозяйственной продукции. Характерной тенденцией стало расширение ассортимента производимой фермерами продукции, в частности за

**Таблица 1.** Наличие сельскохозяйственной техники у фермерских хозяйствах Волынской области (на конец года; единицы)\*

**Table 1.** Availability of agricultural machinery in farms of Volyn region (at the end of the year, units) \*

Виды техники	2000	2005	2010	2011	2013	2014
Тракторы всех марок	439	574	435	563	560	480
Тракторные прицепы	248	332	211	235	248	212
Зерноуборочные комбайны	140	243	162	224	191	143
Картофелеуборочные комбайны	27	23	10	39	51	
Свеклоуборочные машины	13	24	19	47	22	12
Сеялки	191	282	186	207	229	177
Картофелесажалки	71	76	41	69	75	34
Удельный вес в общем количестве в сельскохозяйственных предприятиях, %						
Тракторы всех марок	5,0	10,2	13,9	20,2	21,2	19,9
Тракторные прицепы		6 9,2	11,0		7,2 19,1	18,1
Зерноуборочные комбайны	5,4	13,5	17,6	29,0	27,8	23,4
Картофелеуборочные комбайны	7,9	11,4	7,5	38,6	53,1	48,6
Свеклоуборочные машины	4,0	12,8	17,4	49,0	30,1	21,8
Сеялки	8,3	16,7	17,1	23,7	26,9	23,8
Картофелесажалки				6,1 56,1		1 48,6

\* Источник: рассчитано по данным [3].

За период с 2000 по 2014 годы количество технических средств в сельском хозяйстве Волыни менялась по-разному. Если до 2013 года происходил в основном рост общего количества основных видов техники, в частности тракторов, то в 2014 году их количество резко сократилось. Основной причиной этого стало не только физический износ и выбытие старой техники, но, прежде всего, процессы ее перерегистрации. Кроме того, на процессі замещения выбывшей техники негативное влияние имело обесценивания национальной валюты, что ограничило возможности приобретения прежде всего зарубежной техники.

Структурно-организационные изменения в сельском хозяйстве Волыни, как и в целом по Украине, привели к росту доли технических средств в фермерских хозяйствах. Именно благодаря этому на фермерских полях задействованы каждый пятый трактор, каждый четвертый зерноуборочный комбайн и каждый второй картофелеуборочный комбайн. Об уровне обеспеченности фермерских хозяйств Волыни тракторами свидетельствуют данные таблицы 2.

счет посевов сои, подсолнечника и отдельных овощных культур [20].

Особое значение у ведении фермерского хозяйства имеет техническое обеспечение, которое существенно изменилось за последние годы (табл. 1). Рост конкуренции и раздробленность хозяйств требуют от фермеров внедрять высокоэффективные современные технологии [16]. Наличие современных машин и оборудования как раз позволяет использовать новые технологии, способствует росту производительности труда, увеличению объемов производства продукции и улучшению ее качества [4].

**Таблица 2.** Динамика обеспеченности фермерских хозяйств Волынской области техническими средствами \*

**Table 2.** Dynamics of accommodation of Volyn region farms with technical equipment\*

Показатели	2000	2005	2010	2012	2013	2014
Тракторов на 1000 га пашни	40	23	12	15	14	11
Зерноуборочных комбайнов на 1000 га посеву зерновых	37	13	7	10	8	6
Нагрузка на один трактор, г	23	44	86	66	73	92

\*Источник: рассчитано по данным [3].

Снижающие показатели насыщенности тракторов на единицу площади и нагруженности площади пашни на один трактор не дают оснований для вывода об ухудшении тракторообеспеченности фермерских хозяйств Волынской области. Скорее можно утверждать об определенной рационализации в

формировании тракторного парка за счет достижения норм выработки на один трактор.

Состояние развития фермерства, его динамичность и перспективность, результативность деятельности каждого хозяйства в значительной степени зависят от его размеров. Размеры хозяйства, с одной стороны выступают как важный фактор эффективности ведения хозяйства, а с другой – является результатом его деятельности [8]. Размеры хозяйств должны обеспечивать рациональное использование системы машин и способствовать применению современных технологий. Именно размеры земельных угодий определяют объемы осуществляемых инвестиций и, соответственно, уровень обеспеченности техническими средствами (табл. 3).

**Таблица 3.** Уравнение зависимости количества тракторов на 1000 га пашни от площади землепользования фермерских хозяйств Волынской области по годам

**Table 3.** The equation of dependence of the number of tractors per 1,000 hectares of arable land of the area of farms over the years, Volyn region

Год	Уравнение регрессии	Коэф. корреляции	Коэф. детерминации
2000	$y = 89,399e^{-0,03t}$	0,597	0,3569
2005	$y = 309,38t^{-0,694}$	0,757	0,574
2010	$y = 0,0013t^2 - 0,2945t + 23,692$	0,476	0,2275
2012	$y = -49,42\ln(t) + 223,91$	0,494	0,2443
2013	$y = 188,03t^{-0,604}$	0,679	0,4613
2014	$y = 178,33t^{-0,647}$	0,680	0,4623

\* Источник: рассчитано по данным [3].

Прежде всего целесообразно отметить в основном среднюю (за исключением 2005 года) тесноту связи тракторобеспеченности и размеров хозяйств. Коэффициент детерминации колеблется в пределах 0,2275-0,574. Причем за последние годы он имеет тенденцию к повышению. Учитывая, что наиболее точно явление зависимости тракторобеспеченности от площади землепользования в фермерских хозяйствах Волынской области описываются показательной функцией, установлено динамическую модель этой зависимости. Она имеет вид:

$$y = 282,3 + 93,322\ln t^{-(4,352 - 0,831t + 0,044 t^2)} \quad (1)$$

Приведенное уравнение дает основания для вывода, что размеры фермерских хозяйств не является единственным, хотя и наиболее значимым фактором формирования их уровня технической оснащенности. Совершенно очевидно, что здесь проявляется действие других факторов. Прежде всего это связано с финансовыми возможностями хозяйствующих субъектов. Достаточно интересной представляется эта зависимость в фермерских хозяйствах Волынской области.

В целом уровень тракторозабезпеченности слабо связан с инвестиционными возможностями самих хозяйств. В большей мере сумма полученных доходов, как основной внутренний источник инвестирования, влияет на количество тракторов на одно хозяйство.

**Таблица 4.** Зависимость уровня тракторобеспеченности фермерских хозяйств Волынской области от размера прибыли на одно хозяйство (в среднем за 2010-2014 года)

**Table 4.** Dependence of the level of farms accommodation with tractor in Volyn region on the size of income per household (average for 2010-2014)

Тракторооснащенность (Y)	Уравнение регрессии	Коэф. корреляции	Коэф. детерминации
Количество тракторов на 1000 га пашни	$y = 17,818e^{-0,002x}$	0,253	0,0638
Количество тракторов на одно хозяйство	$y = 21,127x^{0,1976}$	0,562	0,3168
Изменение численности тракторов за 2010-2014 годы	$y = -0,0005x^2 + 0,16x + 95,642$	0,396	0,157

Инвестиции в технические средства являются свидетельством осуществления рыночной деятельности фермером, модернизации хозяйства и расширения масштабов деятельности, что в конечном счете приведет к увеличению потенциала хозяйства в будущем [16]. Вместе с тем, инвестиции в технические средства свидетельствует о перспективных планах фермеров относительно занятости в сельском хозяйстве.

Мы согласны с мнением, что в будущем количество тракторов и зерноуборочных комбайнов уменьшаться, поскольку на место вышедшей техники будет приобретаться внедряется техника более высокопродуктивная [14]. Мы разделяем мнение ученых, которые утверждают, что в настоящее время необходимо создавать предпосылки и искать конкретные пути взаимодействия субъектов рынка, сельскохозяйственного производства и производственно-технических услуг [3], что позволит в какой-то мере решить проблему технического оснащения производителей сельскохозяйственной продукции.

## ВЫВОДЫ

1. Размеры хозяйств являются основным фактором, определяющим наличие технических средств и уровень обеспеченности ими фермерских хозяйств. Однако сила взаимозависимости их в разные периоды достаточно дифференцирована.

2. Фермерские хозяйства Волынской области имеют ограниченные внутренние инвестиционные ресурсы, вследствие чего они не имеют существенного влияния на техническую оснащенность хозяйств. Результатом повышения технического обеспечения является рост экономического потенциала фермерских хозяйств, что обеспечит в будущем возможность формирования собственных источников для инвестирования в техническое оснащение фермерских хозяйств.

## БИБЛІОГРАФІЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Agrarnyj kompleks Wolyni: ekonomichna dopovid'. 2015. Luck: Golovne upravlinnya statystyky Volyn's'koi oblasti. 35.
2. **Artemenko A.M. 2008.** Organizacijno-ekonomichni osnovy rozvytku fermers'kyh gospodarstv: monographia. – K.: NNC IAE. 272.
3. Fermery Volyni: stat. zbirnyk. 2015: Luck: Golovne upravlinnya statystyky Volyn's'koi oblasti. 91
4. **Gołębiewska B. 2010.** Kierunki podejmowanych działań inwestycyjnych w gospodarstwach rolniczych o zróżnicowanych powiązaniach z otoczeniem //RocznikiNauk Rolniczych, Seria G – Ekonomika rolnictwa”, t. 97, z. 4. 60–68.
5. **Golka W. 1998.** Rozmieszczenie ciągników rolniczych w makroregionach gospodarczych Polski w zależności od wieku, mocy silnika i wielkości gospodarstw // Prob. Inż. Roln., 2, 113–123.
6. **Goryovyy V.P. 2007.** Fermerstvo Ukrainy: teoria, metodologia, praktyka: monographia. – K.: NNC IAE. 540.
7. **Ivanishyn V.V. 2005.** Strategichni napryamky silskogospodarskogo mashynobuduvannya v Ukraini // Ekonomika APK. – № 1. 3- 8.
8. **Lypchuk V.V. 2010.** Fermers'ki gospodarstva: stan, problemy ta strategii rozvytku: monographia. – L'viv: Magnolia. 236.
9. **Lypchuk V.V. 2011.** Rozvytok malogo pidpryemnyctva v sil'skomu gospodarstvi: monographia – L'viv: Spolom. 227.
10. **Lypchuk V.V. 2012.** Stan, problemy ta shlyahy pokrashchennya tehnicnoi zabezpechenosti fermers'kyh gospodarstv: monographia – L'viv: Spolom. 224.
11. **Lypchuk V. 2013.** Mechanization level of produkcin processes in farm enterprises in the context of balanced development. // MOTROL. Commission of Motorization and Energeticsin Agriculture – 2013. Vol.15. No.4. 126-133.
12. **Prokopyszyn O.** Organizacijno-ekonomichni formy technichnoho zabezpezhheya fermers'kyh gospodarstv [http://web.znu.edu.ua/herald/issues/2010/Vest\\_Ek6-2-2010-PDF/056-59.pdf](http://web.znu.edu.ua/herald/issues/2010/Vest_Ek6-2-2010-PDF/056-59.pdf). Pro fermers'ke gospodarstvo. Zakon Ukrainy //http://zakon3rada.gov.ua/laws/show/973-15.
13. **Szeptycki A. 2003.** Prognoza wyposażenia polskiego rolnictwa w ciągniki, kombajny i samochody / A. Szeptycki, Z. Wojcicki // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture – Lublin, Vol. 5. 184– 191.
14. **Taranowa J.J. 2010.** Rozvytok material'no-tehnicnoi bazy – odyń z holovnyh faktoriv pidvyzczenia efektyvnosti vyrobnyctva produkcii u fermers'kyh gospodarstvah // Visnyk agrarnoi nauky Prychornomor'a. № 2 (26). – T. 2. 284 – 288.
15. **Tomczyk A. 2014.** Uwarunkowania technicznej modernizacji gospodarstw rolnych w Południowej Polsce //ActaSci. Pol., TechnicaAgraria 13(1-2) 2014, 49-55.
16. **Wasąg, Z. 2011.** Zróżnicowanie zasobów mocy w gospodarstwach rodzinnych. Acta Sci. Pol., Technica Agraria, 10 (3–4), 11–17.
17. **Wojcicki Z.2002.** Prognostyczne modele rolnictwa i techniki rolniczej. Prob. Inż. Rol. 2(36),
18. **Zajęc, D. 2012.** Inwestycje jako czynnik modernizacji gospodarstw rolnych z działalnością pozarolniczą// Nierówności Społeczne a Wzrost Gospodarczy/ Uniw. Rzeszowski, 26, 284–294.
19. Zbirnyk urozaju sil's'kogospodars'kyh kul'tur, plodiv i jagid u Volyn's'kij oblasti (2015): Luck : Golovne upravlinnya statystyky Volyn's'koi oblasti, 42.

## THE FORMATION FACTORS OF TECHNICAL EQUIPMENT

**Summary.** These researches present the main results of technical equipment of farms and the factors of its formation. The features of the formation of farms equipment by technical means. The focus is on the size of the areas of land use, financial results as a source of formation of an investment fund and the conditions of the economy. It is concluded that the above factors are not always decisive in the formation of technical base of farms, which requires finding opportunities in effective use of the available technology, and sound policies of their acquisition.

**Key words:** farms, technical equipment, economic efficiency.

## СЪЁМНИК ДЛЯ ДЕМОНТАЖА ДЕТАЛЕЙ

*Василь Рыс*

*Львовский национальный аграрный университет*

*Ул. В.Великого 1, Дубляны, 80381, Украина E-mail: Rysvasyl@gmail.com*

*Vasyl Rys*

*Lviv National Agrarian University*

*St. Vladimir the Great, 1, Dubliany, Ukraine E-mail: Rysvasyl@gmail.com*

**Аннотация.** Основным требованием для операции демонтажа и монтажа прессовых соединений является сохранение деталей в первоначальном состоянии, то есть избежание их повреждения в процессе демонтажа-монтажа. Это условие можно удовлетворить, зная допустимые напряжения, которые могут возникать в деталях во время операций демонтажа или монтажа, а также какие съёмники нужно использовать.

В статье рассмотрены и изучены схемы конструкций съёмников для замены подшипников. Предложена конструкция съёмника подшипников с функцией принудительного прижима лап до кольца подшипника в процессе демонтажа.

Поставленная задача решается тем, что плечи траверсы съёмника выполнены под углом  $\alpha$  к оси силового винта, в результате действия силы  $F$ , которая увеличивается пропорционально усилия растяжения лапы. Чем меньше угол  $\alpha$ , тем будет большее значение силы  $F$  для аналогичного усилия создаваемого силовым винтом.

Конструкция предлагаемого съёмника является простой и надёжной в работе, он может быть изготовлен в любой механической мастерской. Установка плеч траверсы под углом обеспечивает надёжную фиксацию захватчиков на детали, демонтируется и предостерегает захваты от соскакивания с детали, повреждения захватов и детали и исключает получение травм для рабочего. Использование съёмника данной конструкции уменьшает продолжительность процесса демонтажа деталей на 10 ... 20%.

**Ключевые слова:** съёмник, подшипники, подшипниковые узлы, демонтаж-монтаж, соединения деталей с натягом.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Суть проблемы заключается в том, что при разборке соединений деталей с натягом не всегда есть возможность эффективно использовать универсальные съёмники в связи с особенностями их технологическими возможностями конструкции и особенностями узлов машин которые разбираются [1-6]. Это особенно касается процессов демонтажа деталей из глухих отверстий, деталей установленных на значительном расстоянии от торцов валов, демонтажа тонкостенных деталей и деталей к которым ограничен радиальный и торцевой доступ. В других многих конкретных случаях возникает неудобство

или невозможность использования серийных съёмников известных конструкций, так как это приводит к повреждению или разрушению деталей, а также может быть причиной травм для исполнителей работ [7, 8].

Это, в частности относится к разборке узлов с подшипниками качения. Общеизвестным является то, что в зависимости от особенностей конструкции узла, нагрузок действующих на его детали, используются подшипники различных типов и видов, но в любом случае, как правило, одно из колец подшипника устанавливается с натягом. Чаще всего, подшипниковые узлы лимитируют ресурс машин и в процессе эксплуатации, возникает необходимость несколько раз заменить тот или иной подшипник. Кроме этого подшипники нужно снимать, чтобы создать условия для замены других деталей. Поэтому в процессе демонтажа и монтажа подшипников нужно избежать возможного их повреждения.

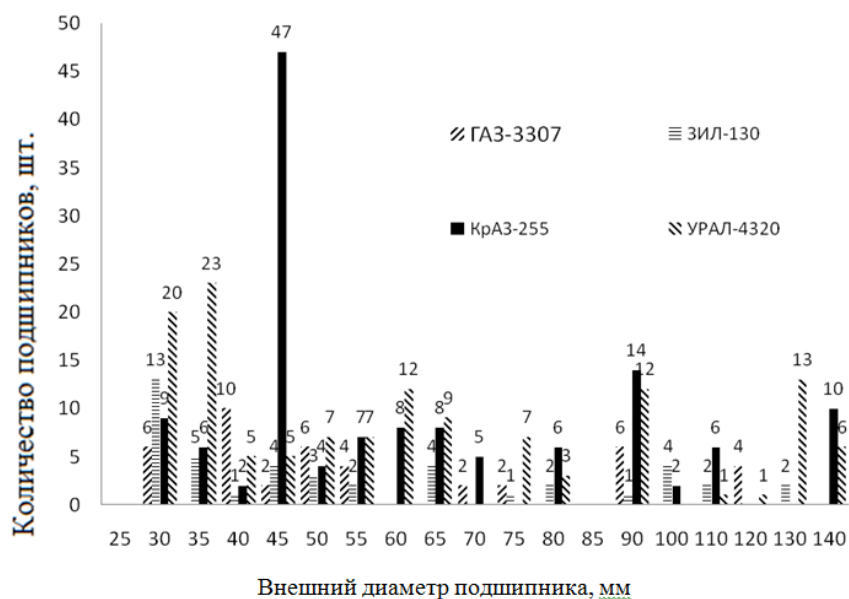
### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Кафедрой эксплуатации и технического сервиса машин им. проф. О.Д. Сенкевича Львовского национального аграрного университета в течение многих лет проводятся исследования процессов демонтажа и монтажа прессовых соединений, в частности соединений шариковых подшипников с валами.

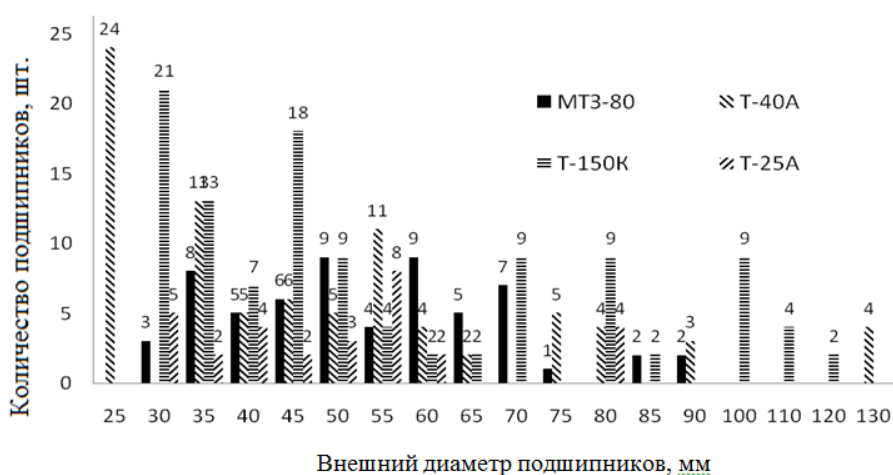
Основное внимание уделялось увеличению эффективности процессов демонтажа и монтажа подшипниковых соединений, улучшению условий труда, снижению металлоёмкости конструкций и расширению их функциональных возможностей.

Как известно, в зарубежном производстве большое внимание уделяется разработке специализированного технологического оборудования для предприятий фирменного технического сервиса техники. В этом заинтересованы как фирмы производители техники, так и фирмы, специализирующиеся на производстве оборудования и инструментов для технического обслуживания и ремонта.

На основании анализа известных конструкций съёмников [9, 13-18] можно сделать вывод, что большинство из них имеют специальное назначение, для разборки узлов с определёнными геометрическими параметрами.



**Рис. 1.** Гистограмма распределения подшипников грузовых автомобилей по внешним диаметрам  
**Fig. 1.** Histogram of distribution of the trucks bearing on the outer diameter



**Рис. 2.** Гистограмма распределения подшипников тракторов по внешним диаметрам  
**Fig. 2.** Histogram of distribution of tractors bearing on the outer diameter

Во время исследований были проанализированы геометрические параметры подшипниковых узлов грузовых автомобилей (рис. 1), тракторов (рис. 2).

Из гистограммы, представленной на рис. 1 видим, что внешний диаметр подшипников приведённых четырёх марок грузовых автомобилей от минимального значения до максимального меняется на 110 мм

Из гистограммы, представленной на рис. 2, видим, что наружный диаметр подшипников приведённых четырех марок тракторов от минимального значения до максимального изменяется на 105 мм. То есть, диапазон изменения и минимальный диаметр подшипников данных марок тракторов и автомобилей отличается лишь на 5 мм, а минимальный диаметр – на 10 мм. Так что для автомобилей и для тракторов можно будет группировать подшипники

по наружным диаметрам в аналогичные параметрические группы.

Расширение номенклатуры подшипниковых узлов, диапазона налаживания съёмников по параметрам диаметра подшипников, расстояния подшипников от торца деталей, и допустимых зон захвата подшипников разнообразнее, поэтому возникает проблема подбора оптимального параметрического ряда съёмников для замены подшипников заданной номенклатуры автотракторного парка [10-12]. Поэтому следующим шагом в наших исследованиях было изучение известных конструкций съёмников. Основное внимание мы обратили на промышленно освоенные модели, которые выпускаются серийно и на принципиально новые конструкции устройств, защищённых авторскими свидетельствами и патентами.

Конструкции съёмников изучались с использованием электронной базы и каталогов инструмента



[13, 14], электронной базы данных и многих других источников информационного обеспечения [15-19]. Среди выявленных конструкций съемников считаем целесообразным обратить внимание на устройства и съемники, разработанные фирмами производителями комплектов оборудования для демонтажа подшипников качения из корпусов.

Съемники и приспособления потребует изготовления большого количества дополнительных элементов, увеличивает стоимость съемников и они могут работать лишь в незначительном диапазоне разведения. В некоторых случаях для демонтажа подшипника необходимо разрушить его сепаратор вследствие чего использование подшипника в дальнейшем невозможно.

Объединив недостатки съемников можно сказать, что довольно часто рабочему приходится одной рукой удерживать съемник, а другой сводить захваты съемника для захвата детали, которую нужно снять. При этом, в зависимости от ориентации съемника в пространстве и технического состояния захватчиков, последние могут соскакивать с подшипника, как при установке, так и после создания усилия в винте механического или штока гидравлического съемника.

#### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Разработать съемник для демонтажа деталей с валов, установленных с натягом (в частности шариковых подшипников на вал), который обеспечит фиксирования захватов на детали, то есть при условии увеличения усилия в силовом винте или штоке, захваты будут прижиматься к наружной поверхности детали, что снимается.

#### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Основным требованием для операции демонтажа и монтажа прессовых соединений является сохранение деталей в начальном состоянии, то есть во избежание их повреждения в процессе разборки-сборки. Это условие можно удовлетворить, зная допустимые напряжения [20, 21], которые могут возникать в деталях во время операций разборки или сборки.

Проведенные исследования и собственные наши разработки показали, что в каждом конкретном случае может быть эффективным использование съемников соответствующего принципа действия и конструкции [12, 15-19]. Например, одной из проблем, возникающих при разборке прессовых соединений, является самовольное соскакивания лап с захваченной ими детали. Для устранения этого недостатка съемники оснащают дополнительными элементами, которые в свою очередь затрудняют их конструкцию и увеличивают вес, а также создают определенные неудобства использования. Конструкция съемника представленного на рис. 3 позволяет обеспечить надежную фиксацию лап на детали без каких-либо дополнительных деталей в конструкции [22, 23].

Съемник (рис. 3) состоит из траверсы 1, на плечах которой установлены захваты 2. В резьбовом отверстии траверсы 1 размещен силовой винт 3 с

рычагом 4. Силовой винт 3 центрируется на торце вала, придерживая траверсу 1, обращают винт в нужном направлении, пока захваты 2 не станут по противоположным торцам детали. Далее сводят захваты 2 до полного захвата детали с торца (до контакта стержней захватов с боковой поверхностью детали). С помощью рычага 4 обращают винт до контакта лап захватов с деталью и проводят демонтаж детали, в процессе которого лапы прижимаются к боковой поверхности детали, исключается их разведения и соскакивания с детали.

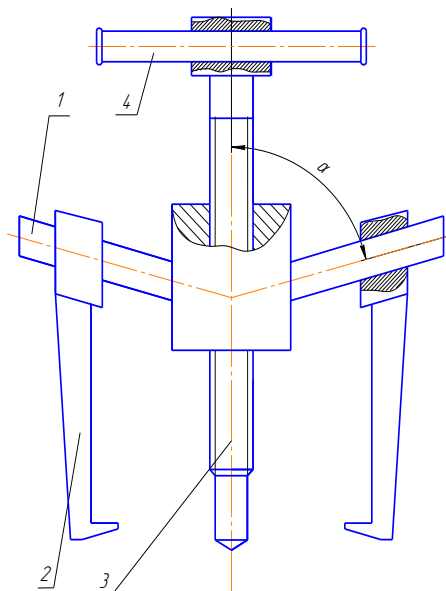


Рис. 3. Общий вид съёмника: 1 – траверса; 2 – захваты; 3 – силовой винт; 4 – рычаг

Fig. 3. General view of the puller: 1 – traverse; 2 – grips; 3 – power screw; 4 – the lever

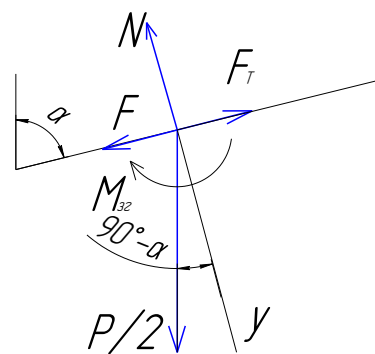


Рис. 4. Схема сил в паре плечо траверсы - захват:  $F_T$  – сила трения;  $F$  – сила, под действием которой захват движется к оси траверсы;  $M_{3z}$  – изгибающий момент, действующий на плечо траверсы;  $N$  – нормальная реакции траверсы от силы  $P/2$ ;  $P/2$  – усилие растяжения в захватах;  $\alpha$  – угол между осью силового винта и плечом траверсы ( $\alpha = 75^\circ$ )

Fig. 4. Driving forces in a pair of traverse arm – grip:  $F_T$  – the friction force;  $F$  – the force under the influence of which the grip is moving to the traverse axis;  $M_{3z}$  – the bending moment acting on the traverse arm;  $N$  – normal reaction of traverse from the  $P/2$  force;  $P/2$  – tensile force in the grips;  $\alpha$  – angle between the axis of the power screw and the traverse arm ( $\alpha = 75^\circ$ )

Поставленная задача решается тем (рис 4), что плечи траверсы съемника выполнены под углом  $\alpha$  (в данном случае  $\alpha = 75^{\circ}$ ) к оси силового винта, в результате действия силы  $F$ , которая увеличивается пропорционально усилию растяжения лапы. Чем меньше угол  $\alpha$ , тем будет большее значение силы  $F$  для аналогичного усилия создаваемого силовым винтом.

#### ВЫВОДЫ

1. Конструкция предложенного съемника является простой и надежной в работе, он может быть изготовлен в любой механической мастерской.

2. Установление плеч траверсы под углом обеспечивает надежную фиксацию захватчиков на детали, демонтируется и предохраняет захваты от соскакивания с детали, повреждения захватчиков и детали и исключает травмирование рабочего.

3. Использование съемника данной конструкции уменьшает продолжительность процесса демонтажа деталей на 10 ... 20%.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Высоцкий М.С. 1989.** Автомобили МАЗ-5335, -5334, -5549, -5429, -5430, 504В. Руководство по эксплуатации / Под ред. М.С. Высоцкого. – Минск.: Издательство «Полымя», 240.
- Барун В.Н. 1984.** Автомобили КамАЗ: Техническое обслуживание и ремонт/ В.Н. Барун, Р.А. Азаматов, В.А. Трынов и др.-М.: Транспорт, 251.
- Высоцкий М.С. 1989.** Автомобили МАЗ-64229, -54323. Руководство по эксплуатации / Под ред. М.С. Высоцкого-Минск: Издательство «Полымя», 1989, 224.
- Кузнецов А.С. 1988.** Автомобиль ЗИЛ 431410 и его модификации. Руководство по эксплуатации / Под ред. А.С. Кузнецова - М.: Машиностроение, 320.
- Анисимов Г.Ф., Бержигалов В.П., Жадаев В.Ф. и др. 2001.** Грузовой автомобиль ГАЗ-3307. Руководство по ремонту, эксплуатации и техническому обслуживанию / Под ред. Ю.В. Кудрявцева – М.: Издательство “Колесо”, 192.
- Кузнецов А.С. 1994.** Практическое руководство по ремонту автомобилей ЗИЛ-431410, ЗИЛ-13111 и их модификаций / Сост. Кузнецов А.С.-М.: Машиностроение, 291.
- Чухрай В.Е., Рыс В.И. 2003.** Обоснование параметров оборудования для замены подшипников грузовых автомобилей. Вестник Львовского государственного аграрного университета: Агроинженерный исследования № 7, 236-246.
- Чухрай В., Рыс В. 2004.** Анализ оборудования для разборки подшипниковых узлов. Вестник Львовского государственного аграрного университета: Агроинженерный исследования №8, 348-357.
- Набор инструмента KLANN для замены подшипников ступиц // Автосервис,- 2003.-№02, 5.
- Чухрай В., Рыс В. 2003.** Обоснование параметров оборудования для замены подшипников грузовых автомобилей. Вестник Львовского государственного аграрного университета: Агроинженерный исследования №7, 236-246.
- Чухрай В.Е. 2000.** Обоснование технологических параметров оборудования для операций разборки-сборки машин в условиях ремонтной базы их владельцев. Механизация и электрификация сельского хозяйства. Выпуск №83. Научное издание. Глеваха, 234-238с.
- Чухрай В.Е., Рыс В.И., Билань О.В., Юхимчук О.В. 2012.** Обоснование принципиальных схем конструкций съемников для разборки подшипниковых узлов. Вестник Львовского национального аграрного университета: Агроинженерный исследования №16, 330-338.
- Каталог оборудования, инструментов и приспособлений фирмы FORCE. 2003/2004, 296.
- Официальный сайт Licota® в России: <<http://www.licota.ru/>>.
- Чухрай В.Е. 1985.** А.С. №1192958 (СССР) 25 В 27/02 Гидравлический съемник / Чухрай В.Е. Заявл. 06.03.84; Оpubл. 23.11.85, Бюл. №43.
- Гурский В.А., Рожко М.Д., Чухрай В.Е. 1985.** А.С. №1192960 (СССР) В 25 В 27/02 Гидравлический съемник / Гурский В.А., Рожко М.Д., Чухрай В.Е. Заявл. 04.06.84; Оpubл. 23.11.85, Бюл. №43.
- Кудриницкий Б.П., Семкович А.Д., Чухрай В.Е., Головащенко В.Е., Осовский Я.Н. 1988.** А.С. № 1388257 (СССР) В 23 Р 19/02 Стенд для демонтажа прессовых соединений / Кудриницкий Б.П., Семкович А.Д., Чухрай В.Е., Головащенко В.Е., Осовский Я.Н. Заявл. 24.07.86; Оpubл. 15.04.88, Бюл. №14.
- Семенов В.М. 1987.** А.С. №1335439 А1 (СССР) В25 В27/02 Механический съемник / Семенов В.М. Заявл. 10.12.1985; Оpubл. 07.09.1987., Бюл. №33.
- Семенов В.М. 1985.** Нестандартный инструмент для разборочно-сборочных работ. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Агропромиздат: ил. - (Учебники и учеб. пособия для подгот. с.-х. кадров массовых профессий), 287.
- Чухрай В.Е., Рыс В.И., Нищенко И.А. 2005.** Определение влияния геометрических параметров деталей подшипниковых узлов на режимы процессов разборки и сборки. Вестник Львовского государственного аграрного университета: Агроинженерный исследования. №9, 364-371.
- Павлыще В.Т. 1993.** Основы конструирования и расчет деталей машин.: Учебник. - М. Высшая школа, 556.
- Чухрай В.Е., Рыс В.И. 2008.** Съемник для демонтажа деталей, установленных с натягом на вал. Патент на полезную модель №36873, МПК В25В 27/02, бюл. № 21 (Украина).

23. Чухрай В.Е., Рыс В.И. 2008. Съёмник для демонтажа деталей, установленных с натягом на вал. Ученые ЛНАУ - производству: Каталог наук. разработок / Под ред. В. В. Снитинского, Г. В. Черевко. - Выпуск 8. - Львов: ЛНАУ, 146-147.

#### PULLER FOR PARTS DISMANLING

**Summary.** The main requirement for the operation of dismantling and assembling of the press connection is to preserve the details in the original state, that is, to avoid damaging them in the process of dismantling-installation. This condition can be satisfied, knowing the allowable stresses which may occur in the parts during installation or dismantling operations, as well as some withdrawal or remover tool to use.

The article examined and studied the schemes of bearing remover tools designs. The design of the bearing puller are proposed with forced clamping of paws to the bearing ring in the process of dismantling.

The problem is solved in that the puller crosspiece arm are set with  $\alpha$  angle to the axis of the power screw, and as a result the F force are increased in proportion to the tensile force paws. The smaller the  $\alpha$  angle, the greater will be the value of the F force for a similar effort created by a power screw.

The design of the proposed puller is simple and reliable in operation, it can be made at any machine shop. Installing the crosspiece arm under the angle ensures a secure hold of the paws on the dismantled details, and warns of grips coming off from the details as well the details and the grips damage and prevents injury to the worker. The use of this design of extractor shortens by 10–20% dismantling of the parts.

**Key words:** withdrawal or remover tool – puller, bearings, bearing assemblies, dismantling, installation, connection of the parts with an negative allowance.



## WYTWARZANIE ZBIORNIKÓW I POJEMNIKÓW WIELKOGABARYTOWYCH Z TWORZYW POLIMEROWYCH

*Włodzimierz Baranowski<sup>1</sup>, Paweł Palutkiewicz<sup>2</sup>, Monika Margol<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Institut Technologii Mechanicznych*

<sup>2</sup>*Zakład Przetwórstwa Polimerów*

<sup>3</sup>*Politechnika Częstochowska*

*Al. Armii Krajowej 19c, 42-201 Częstochowa. E-mail: margol@ipp.pcz.pl*

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono technologie stosowane do wytwarzania zbiorników i pojemników (zwłaszcza wielkogabarytowych) z tworzyw polimerowych. Omówiono klasyfikację metod ich wytwarzania. Klasyfikacji dokonano w oparciu o kryteria przeznaczenia zbiorników, rodzaj zastosowanego tworzywa i wynikającej z tego technologii. Opisano także zagadnienia dotyczące studzienek z tworzyw polimerowych.

**Słowa kluczowe:** tworzywa sztuczne, zbiorniki i pojemniki wielkogabarytowe, technologie wytwarzania

### WSTĘP

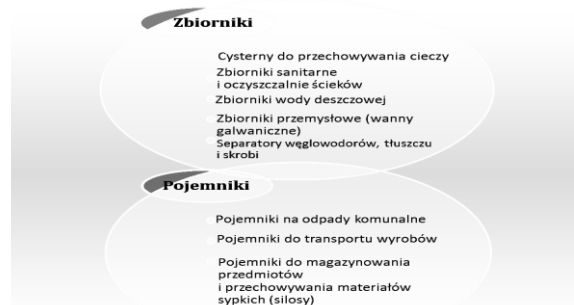
Współczesne systemy wodociągowe i kanalizacyjne w ogromnej mierze wytwarzane są z wykorzystaniem tworzyw polimerowych. Rozwój technologiczny systemów wytwarzania jak i technologii budowlanych pozwala na wytwarzanie wyrobów o coraz lepszej jakości i trwałości przy obniżeniu kosztów produkcji. Zbiorniki i pojemniki, w tym wielkogabarytowe, z tworzyw polimerowych, mają szerokie zastosowanie w różnorodnych branżach przemysłu, rolnictwie i gospodarce komunalnej. Do najczęstszych ich zastosowań należą przydomowe oczyszczalnie ścieków. Występują jako zespół urządzeń, które służą do neutralizacji ścieków wytwarzanych w gospodarstwach budownictwa indywidualnego [2, 8, 10, 16].

Tworzywa polimerowe należą obecnie do podstawowych materiałów konstrukcyjnych, stosowanych ze względu na swoje właściwości do produkcji tego typu wyrobów. Znajdują zastosowanie wszędzie tam, gdzie użycie metali do wytwarzania zbiorników i pojemników nie sprawdza się ze względu na koszty, ciężar, łatwość obróbki, odporność chemiczną, odporność na korozję. Możliwość kształtowania wyrobu oraz określone właściwości sprawiają, że zbiorniki wykonywane z tworzyw polimerowych mają dużą sztywność i mogą być stosowane nie tylko jako zbiorniki naziemne, ale i podziemne. Zatem do wytwarzania zbiorników nadają się tworzywa polimerowe ze względu na łatwość kształtowania i małą gęstość. Najczęściej stosuje się polietylen dużej gęstości PE – HD. Szczególnie wykorzystuje się je do wytwarzania przydomowych oczyszczalni ścieków, a także zbiorników do gromadzenia deszczówki.

W pracy przedstawiono wybrane technologie wytwarzania oraz sposoby eksploatacji zbiorników i pojemników z tworzyw polimerowych. Omówiono także studzienki z tworzyw polimerowych.

### RODZAJE ZBIORNIKÓW I POJEMNIKÓW Z TWORZYW SZTUCZNYCH

Pojemniki z materiałów sztucznych służą do przechowywania i magazynowania przedmiotów i materiałów sypkich. Zbiorniki natomiast służą do przechowywania cieczy. Podział na zbiorniki i pojemniki jest podziałem umownym [16]. Według autorów należałoby przyjąć, że pojemniki to pojęcie szersze, w skład którego wchodzi pojęcie zbiorników. Klasyfikację zbiorników oraz pojemników wielkogabarytowych z materiałów polimerowych ze względu na przeznaczenie przedstawiono na rysunku 1.



**Rys. 1.** Klasyfikacja zbiorników i pojemników wielkogabarytowych ze względu na przeznaczenie [opracowanie własne]

**Fig. 1.** Classification of tanks and containers wielkogabarytowych due to destiny [to develop their own]

Zbiorniki z materiałów polimerowych można podzielić ze względu na [8, 2, 10]:

- a) rodzaj utwierdzenia [14]:
  - zbiorniki podziemne,
  - zbiorniki naziemne i nadziemne (wyniesione).
  - kształt:
    - zbiorniki cylindryczne,
    - zbiorniki prostopadłościowe.

b) przeznaczenie:

– przemysłowe – służą do magazynowania wody przemysłowej, ścieków technologicznych i mediów płynnych nieagresywnych chemicznie. Do przechowywania związków agresywnych chemicznie konieczne jest dopuszczenie zbiornika do eksploatacji przez Urząd Dozoru Technicznego (UDT);

– sanitarne – przeznaczone są do magazynowania wody uzdatnionej, wszelkiego rodzaju ścieków, żywności płynnej, napojów, produktów i półproduktów gastronomicznych oraz ścieków;

– gospodarcze – służą do magazynowania ścieków, nawozów i wody deszczowej. Stosowane są również jako silosy do magazynowania materiałów budowlanych.

c) budowę:

– zbiorniki poziome (rys. 2);

– zbiorniki pionowe (rys. 3).



**Rys. 2.** Zbiornik polimerowy poziomy jednokomorowy wykorzystywany jako element ekologicznej oczyszczalni ścieków w gospodarstwach domowych [opracowanie własne]

**Fig. 2.** Reservoir levels of single-cell polymer used as part of ecological wastewater treatment plant in households [own elaboration]

W projektowaniu zbiorników przeznaczonych do przechowywania medium pod powierzchnią ziemi należy rozpatrzyć działające na konstrukcję obciążenia wewnętrzne, wynikające z parcia hydrostatycznego magazynowanej cieczy oraz zainstalowanego osprzętu, np. pomp, zaworów, mieszadeł itp. Należy uwzględnić również naprężenia zewnętrzne – siła wyporu działająca na zbiornik, spowodowana obecnością wód gruntowych (konieczność stosowania w wielu konstrukcjach kotwiczenia) oraz naciski spowodowane zasypaniem gruntem i bezpośrednie obciążenie gruntu nad zbiornikiem.

W przypadku zbiorników instalowanych na powierzchni gruntu lub na przystosowanych do tego celu konstrukcjach występuje zjawisko obciążenia siłami wewnętrznymi wynikającymi z ciśnienia hydrostatycznego magazynowanej cieczy oraz ewentualne obciążenie wynikające z zainstalowanego wyposażenia technologicznego. Obciążenia zewnętrzne to reakcje podpór lub podłoża, obciążenia wyposażenia technologicznego (mieszadła, pomosty, drabiny itp.) oraz obciążenie wiatrem (dotyczy głównie zbiorników pionowych).

Zbiorniki cylindryczne (np. zbiorniki magazynowo – procesowe), które występują w układzie osi pionowej mogą mieć dno stożkowe lub pochyle. Dodatkowo taki zbiornik można wyposażyć w różne urządzenia mieszające, pomiarowe itp. Zbiorniki te znajdują zastosowanie do produkcji, przetwarzania i konfekcjonowania chemikaliów. Ze względu na specyfikę instalacji zbiorniki te najczęściej są montowane wewnątrz budynków. Żywotność

zbiorników cylindrycznych jest ograniczona do 15 lat ze względu na zmienne obciążenia i temperaturę [2,9,10].



a)



b)



c)

**Rys. 3.** Zbiorniki polimerowe pionowe: a) studnia wodomierzowa, b) studzienka kanalizacyjna, c) zbiornik dwukomorowy [opracowanie własne]

**Fig. 3.** Polymer Vertical Tanks: a) Water-meter Well, b) a sewer drain, c) two-chamber tank [own work]

Zbiorniki prostopadłościennne składają się z konstrukcji nośnej (najczęściej stalowej) i wkładu z tworzywa termoplastycznego. Wykorzystywane są one jako wanny trawialnicze w cynkowniach i jako zbiorniki procesowe w galwanizerniach. Ze względu na złożoność konstrukcji i skomplikowany proces produkcji zbiorniki te należą do najdroższych. Z tego względu używane są jedynie tam, gdzie jest wymagane zastosowanie regularnego kształtu prostopadłościennu [2, 10].

#### RODZAJE MATERIAŁÓW POLIMEROWYCH STOSOWANYCH DO PRODUKCJI WIELOGABARYTOWYCH ZBIORNIKÓW I POJEMNIKÓW

Do produkcji zbiorników i pojemników najczęściej stosuje się materiały polimerowe z grupy PE, PP, PVC i PVDF oraz z żywic poliestrowych, winylo – estrowych, epoksydowych zbrojonych odpowiednim wzmocnieniami z włókien szklanych [8, 16].

Na właściwości, głównie mechaniczne, zbiorników oraz pojemników z materiałów polimerowych wpływają następujące czynniki [1, 13, 16, 19]:

- ujemne temperatury – dotyczy to nieprzystosowanych specjalnie do użytku zewnętrznego tworzyw takich jak PE i PP;

- promieniowanie ultrafioletowe – bardzo dobrą odporność na czynniki atmosferyczne bez dodatkowych stabilizatorów na promienie UV wykazuje PVDF.

Do zalet zbiorników wielkogabarytowych z tworzyw utwardzalnych zaliczyć można [1, 7, 11, 19, 20]:

- duża odporność chemiczna, umożliwiającą przechowywanie większości kwasów i zasad;

- odporność na korozję, agresywne oddziaływanie środowiska, promieniowanie UV i przyspieszone starzenie;

- zabezpieczenie przed infiltracją;

- mała masa (łatwiejszy transport i montaż);

- mniejsze koszty wytwarzania niż zbiorniki metalowe;

- brak konieczności nakładania warstw środków zabezpieczających przed korozją i oddziaływaniem chemicznym;

- łatwość stosowania obróbki skrawaniem;

- długi czas eksploatacji, w trakcie którego nie jest wymagane stosowanie dodatkowych zabiegów zabezpieczających, takich jak: laminowanie, gumowanie, malowanie;

- długoterminowe utrzymanie zadanej kolorystyki;

- brak iskrzenia przy otarciach i uderzeniach;

- możliwość łatwej modyfikacji właściwości mechanicznych tworzyw poprzez stosowanie różnorodnych środków modyfikujących, np. środków porujących;

- bardzo duża wytrzymałość mechaniczna, przekraczającą wytrzymałość zbiorników z tworzyw termoplastycznych i w niektórych przypadkach zbiorników metalowych;

- możliwość wytwarzania zbiorników ciśnieniowych metodą nawijania;

- odporność na starzenie – konstrukcje laminatowe tracą po upływie 50 lat jedynie około 20% swojej pierwotnej wytrzymałości;

- łatwość formowania i uzyskiwania złożonych kształtów;

- możliwość łatwej modyfikacji właściwości mechanicznych laminatów;

- łatwa i ekologiczna utylizacja przez spalanie.

Do wad tych zbiorników i pojemników należą [1, 2, 7, 11, 20]:

- brak możliwości nadawania dowolnych, skomplikowanych kształtów ze względu na specyficzne właściwości mechaniczne tworzyw termoplastycznych;

- brak możliwości stosowania zbiorników z tworzyw termoplastycznych do przechowywania gazów, bowiem zbiorniki z tworzyw termoplastycznych są zbiornikami bezciśnieniowymi;

- słaba odporność na starzenie;

- niski zakres temperatury pracy - żywice poliestrowe tracą właściwości mechaniczne ulegając degradacji już w 60°C;

- brak odporności na działanie niektórych związków chemicznych.

W tabeli 1 przedstawiono odporność na różne rodzaje chemikaliów wybranych rodzajów polimerów stosowanych do produkcji zbiorników wielkogabarytowych.

**Tabela 1.** Rodzaj materiału polimerowego, z którego wykonano zbiornik bądź pojemnik polimerowy oraz stopień jego odporności na wybrany rodzaj chemikalia [12]

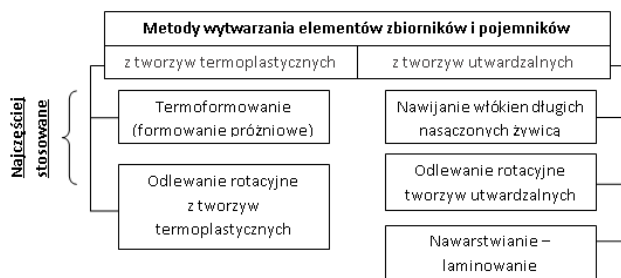
**Table 1.** The nature of the polymeric material from which the container or receptacle polymer and the degree of the resistance of the selected type of chemicals [12]

Odporność na chemikalia		Woda zimna	woda ciepła	roztwór chloru	olej silnikowy	olej dieslowy	olej silikonowy	benzyna	aceton	alkohol	amoniak 30%	kwas solny 35%	kwas siarkowy 40%	kwas azotowy 10%	promieniowanie UV
Skrót	Określenie														
PELD	Polietylen niskiej gęstości	●	●	○	●	○	○	○	○	●	●	●	○	○	○
PELLD	Polietylen liniowy niskiej gęstości	●	●	○	●	○	○	○	○	●	●	●	○	○	○
PEHD	Polietylen, wysokiej gęstości	●	●	●	●	○	●	●	○	●	●	●	●	○	○
PA 6	Poliamid 6	●	○	○	●	●	●	●	○	○	●	○	○	○	○
PA 6.6	Poliamid 6.6	●	○	○	●	●	●	●	○	○	●	○	○	○	○
PA 6.6 m/15%	Poliamid 6.6 z 15% włóknem szk.	●	●	○	●	●	●	●	○	○	●	○	○	○	○
PS	Polistyren	●	●	○	○	○	○	○	○	○	●	●	●	○	○
PP	Polipropylen	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
TPE	Elastomer termoplastyczny	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

● odporny    ○ częściowo odporny    ○ nieodporny

## METODY WYTWARZANIA ZBIORNIKÓW I POJEMNIKÓW Z TWORZYW SZTUCZNYCH

Zbiorniki i pojemniki są wytwarzane często z pojedynczych elementów, łączonych ze sobą metodą klejenia, spawania lub zgrzewania. Metody wytwarzania elementów zbiorników i pojemników przedstawiono na rysunku 4.



**Rys. 4.** Metody wytwarzania elementów zbiorników i pojemników (opracowanie własne)

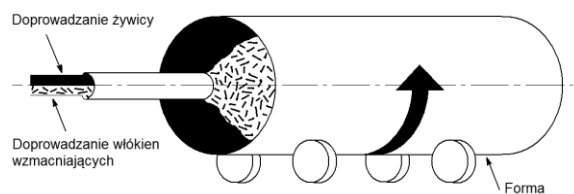
**Fig. 4.** Methods of fabrication of tanks and containers (own work)

Termoformowanie to proces technologiczny, w którym z płaskich folii lub płyt, podgrzanych wstępnie do temperatury uplastycznienia charakterystycznej dla danego tworzywa, uzyskuje się produkty o zadanych kształtach. Stosunkowo tanie i wysokowydajne przetwórstwo sprawia, że termoformowanie jest powszechnie wykorzystywane w produkcji opakowań i przedmiotów wielkogabarytowych. Podczas termoformowania mamy do czynienia z dwiema podstawowymi operacjami: ogrzewaniem półfabrykatu i kształtowaniem (formowaniem). Termoformowanie wykonuje się na stosunkowo tanich urządzeniach i formach w warunkach relatywnie niskich wartościach temperatury przetwórstwa i ciśnienia [18].

Istota procesu formowania próżniowego polega na nagraniu do temperatury uplastycznienia folii lub płyty wykonanej z tworzywa termoplastycznego i za pośrednictwem różnicy ciśnień nadaniu jej wymaganego kształtu przy użyciu formy. Po

ochłodzeniu tworzywa w formie gotowej kształtki następuje jej usunięcie. Rozróżnia się dwie zasadnicze metody formowania próżniowego: negatywowe (FPN) i pozytywowe (FPP) [15]. Metoda formowania próżniowego „negatywowe” (FPN) polega na formowaniu przedmiotów w formie negatywowej, tzn. że forma nadaje kształt zewnętrznej powierzchni przedmiotów. Powstała kształtka charakteryzuje się cienkim dnem i grubymi ściankami. W metodzie formowania próżniowego pozytywowego (FPP) forma odzwierciedla wewnętrzne zarysy przedmiotu.

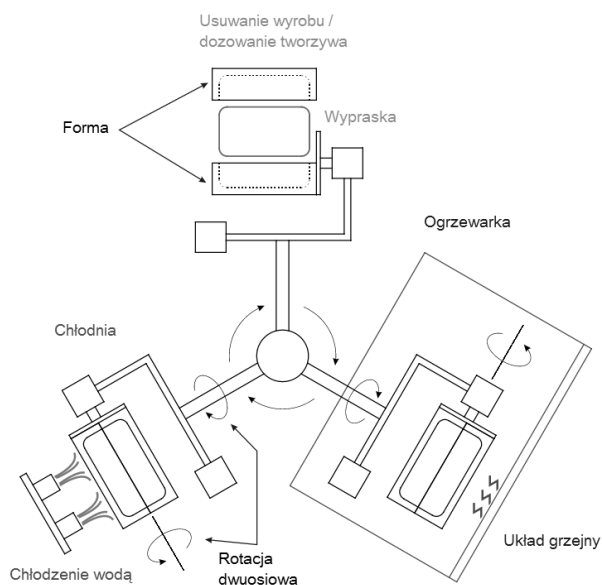
Ostatnia z metod wytwarzania zbiorników i pojemników wielkogabarytowych z tworzyw termoplastycznych jest metoda odlewania rotacyjnego (ang. rotomoulding). Polega ona na rozprowadzeniu po powierzchni formy tworzywa w postaci proszku lub mikrogranulatu. Tworzywo znajduje się wewnątrz zamkniętej i rozgrzanej formy w piecu do temperatury 200 °C [17]. Forma do odlewania rotacyjnego składa się z dwóch lub więcej części. Obracana jest jednocześnie względem dwóch osi tak, aby uplastycznione tworzywo, które osadza się na ściankach formy zostało dokładnie rozprowadzone. Następnie forma jest ochładzana i otwierana. Stopiony polimer tworzy warstwę na ściankach formy. Można w ten sposób formować również polimery wzmocnione włóknami. Schemat procesu powstawania wyrobów metodą odlewania rotacyjnego przedstawiono na rysunkach 5 i 6.



**Rys. 5.** Schemat odlewania odśrodkowego z udziałem włókien [11]

**Fig. 5.** Schematic centrifugal casting involving fibers [11]





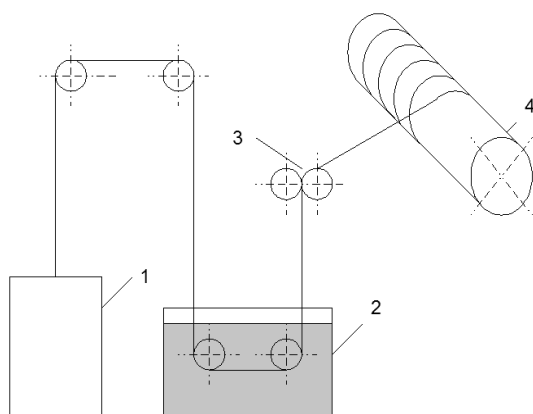
**Rys. 6.** Ogólny schemat procesu odlewania odśrodkowego [17]

**Fig. 6.** The general scheme of the centrifugal casting process [17]

Do podstawowych zalet formowania rotacyjnego należy zaliczyć:

- brak naprężeń wewnętrznych w wyrobach,
- zbiorniki i pojemniki wykonane są jako jeden element, bez jakichkolwiek połączeń,
- grubość ścianek jest znaczna i równomierna,
- wraz ze zbiornikami i pojemnikami w tej samej formie można wykonywać włązy i pokrywy.

Zbiorniki wykonuje się również metodą nawijania włókien długich nasączonych żywicą (rys. 7).

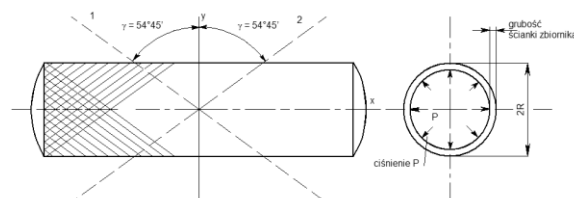


**Rys. 7.** Schemat urządzenia do nawijania zbiorników [5]: 1 – stojak ze szpulą lub szpulami wzmocnienia, 2 – wanna impregnująca z żywicą, 3 – wałki dociskające, 4 – obracający się rdzeń

**Fig. 7.** Diagram of an apparatus for winding tank [5]: 1 – stand of the reel or reels gain, 2 – impregnating a resin bath, 3 – tension rollers, 4 – rotating core

Nawijanie jest to nakładanie nośnika w postaci wstęgi lub włókna nasyczonego żywicą na rdzeń wprawiony w ruch obrotowy [5]. Nawijanie może być spiralne, jeżeli rdzeń wykonuje tylko ruch obrotowy lub

śrubowe, jeśli rdzeń wykonuje ruch obrotowy i postępowy. Jako nośniki stosuje się wzmocnienie szklane i jednopasmowe o jednakowej długości, co jest istotne, aby uzyskać równomierne naprężenia. Do specjalnych celów stosuje się również włókna węglowe lub grafitowe, płótno bawełniane, tkaniny szklane i węglowe oraz papier kablowy. Do nawijania stosuje się najczęściej duroplasty, żywice epoksydowe, nienasycone poliestrowe, fenolowe, a ostatnio coraz częściej termoplasty. Nawijanie można wykonywać metodą suchą – nawijanie pojedynczych elementów lub moką – nasycanie upłynnionym polimerem. Do impregnacji włókna szklanego używa się nienasyconych żywic i żywic epoksydowych, do węglowego zaś przeważnie żywic epoksydowych. Taśmy wzmocnień rozwijane są ze szpul i przepuszczane przez wannę wypełnioną żywicą utwardzalną. Nasycone żywicą wzmocnione taśmy przeciągane są przez stalowy tłocznik, który nadaje produkowanemu elementowi wstępny kształt, a jednocześnie kontroluje i reguluje właściwy skład kompozytu (tzn. odpowiedni udział włókien, wynoszący ok. 40 ÷ 70% objętości). Uzyskany w ten sposób produkt wstępny przeciągany jest przez kolejny, precyzyjnie wykonany tłocznik, który nadaje ostateczny kształt w przekroju poprzecznym. Układ grzewczy tłoczniaka inicjuje także proces utwardzania żywicy. Naprężenia w kierunku obwodowym powstałego zbiornika są dwukrotnie większe od naprężeń w kierunku osiowym. Taki stosunek naprężeń determinuje kąt nawijania wzmocnienia. Optymalna wartość kąta nawijania  $\gamma = 54^{\circ}45'$  [3]. Nawijanie pod tym kątem odbywa się w dwóch kierunkach zaznaczonych na rysunku 8.



**Rys. 8.** Schemat obciążenia zbiornika ciśnieniowego wykonanego metodą nawijania [11]

**Fig. 8.** Scheme load pressure vessel made by winding [11]

Zbiorniki i pojemniki wielkogabarytowe z tworzyw utwardzalnych można wykonywać także stosując laminowanie bezciśnieniowe. Proces ten polega na przesycaaniu ciekłą żywicą kolejnych warstw nośnika. Matę lub tkaninę szklaną odpowiednio pociętą układa się warstwami w formie uprzednio powleczonej środkami rozdzielającymi. Każdą warstwę maty/tkaniny przesyca się żywicą za pomocą pędzla. Nadmiar żywicy odciska się wałkiem o powierzchni rowkowej. Jako pierwszą zewnętrzną warstwę nakłada się warstwę żywic z napełniaczem proszkowym i barwnikami, tzw. warstwę żelkotu. Po nałożeniu wszystkich warstw nośnika, formę odstawia się w temperaturze pokojowej na okres 4÷12 h w celu utwardzenia. Proces sieciowania można przyspieszyć przez naświetlenie uformowanego wyrobu promiennikami podczerwieni. Laminowanie odbywa się za pomocą pistoletu natryskowego,

składającego się z trzech dysz. Przez środkową dyszę pod ciśnieniem jest podawane wzmocnienie, a przez obie boczne dysze – mieszanka żywic z czynnikiem sieciującym. Strumienie żywicy i wzmocnienia są wtryskiwane z pistoletu w kierunku obiektu – formy. Laminowanie natryskowe umożliwia nakładanie warstw laminatu na górne powierzchnie wnek gotowego wyrobu. Najczęściej stosowanymi metodami formowania są: laminowanie bezciśnieniowe, laminowanie natryskowe, formowanie podciśnieniowe. Wybór metody zależy od wielkości i kształtu wyrobu, warunków pracy oraz wymaganych właściwości danego przedmiotu, a także od warunków sieciowania (temperatury) i lepkości spoiwa do nasycenia.

W przypadku zbiorników z tworzyw termoplastycznych i utwardzalnych najszerszej stosowaną metodą wytwarzania jest odlewanie rotacyjne.

#### PODSUMOWANIE

Postęp w produkcji zbiorników i pojemników wielkogabarytowych z tworzyw polimerowych spowodował, że stały się one tańsze i bardziej funkcjonalne, a zatem dostępne dla klienta.

Rozwój technologii przetwórstwa polimerów sprawił, że zbiorniki i pojemniki dzięki innowacyjnej jakości użytkowej wypierają z eksploatacji tradycyjne zbiorniki metalowe oraz żelbetonowe.

Dzięki zastosowaniu tworzyw kompozytowych istnieje coraz więcej możliwości uzyskiwania pożądanych właściwości wytrzymałościowych i antykorozyjnych tych wyrobów. Wskazane jest także wykonanie starannej analizy dostępnych systemów, które uwzględniają kryteria zrównoważonego rozwoju [6, 13].

Istotne znaczenie ma łatwa obróbka skrawaniem tworzyw sztucznych nawet przy pomocy narzędzi ręcznych. Ponadto metody łączenia zbiorników, pojemników i studzienek z rurami z polietylenu nie są kłopotliwe, stosuje się wtedy metody zgrzewania doczołowego. Trwałość i łatwość montażu sprawiają, że tego typu zbiorniki, pojemniki i studzienki są bardzo często stosowane w budownictwie indywidualnych gospodarstw.

Z roku na rok przybywa osadów ściekowych powstałych z przydomowych oczyszczalni ścieków, które są produktem ubocznym biochemicznych procesów oczyszczania ścieków i co sprawia, że wzrasta zapotrzebowanie na tego typu wyroby z tworzyw polimerowych [4].

#### LITERATURA

1. **Baranowski W., Palutkiewicz P., Margol M. 2014.** Zbiorniki i pojemniki wielkogabarytowe z tworzyw sztucznych stosowane w gospodarstwach domowych. *Tworzywa Sztuczne w Przemysle*, 6, 22 – 25.
2. **Błażejowski R. 2002.** Przydomowe oczyszczalnie ścieków. *Przegląd Komunalny*, 4, 55.
3. **Brzostowski N. 2008.** Przydomowe oczyszczalnie ścieków. *Poradnik*, Białystok: Polska Stacja Przyrodnicza Narew.
4. **Cupiał K., Pyrc M., Jamrozik A., Tutak W., Kociszewski A., Grab – Rogaliński K. 2011.** Instalacja zgazowująca osuszony osad ściekowy. *Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa* Vol. 13, 80 – 93.
5. **Frącz W., Krywult B. 2006.** Projektowanie i wytwarzanie elementów z tworzyw sztucznych. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej*, Rzeszów.
6. [http://www.inzynierbudownictwa.pl/technika,materiały\\_i\\_tehnologie,artykul,przydomowe\\_oczyszczalnie\\_ściekow\\_na\\_terenach\\_wiejskich\\_-\\_cz\\_i,5927](http://www.inzynierbudownictwa.pl/technika,materiały_i_tehnologie,artykul,przydomowe_oczyszczalnie_ściekow_na_terenach_wiejskich_-_cz_i,5927) z dnia 13.07.2014 r.
7. <http://www.kwh.pl/Default.aspx?id=367233> - *Zbiorniki dla rolnictwa Weho Agro z dnia 9.07.2014 r.*
8. <http://www.trokotex.pl> z dnia 9.07.2014 r.
9. [http://www.zbiorniki.com.pl/index.php?go=aktualnosci&id\\_aktualnosci=45](http://www.zbiorniki.com.pl/index.php?go=aktualnosci&id_aktualnosci=45) z dnia 8.07.2014 r.J. Jarawka: Zastosowanie termoplastów do produkcji zbiorników i innych aparatów.
10. **Jóźwiakowski K. 2012.** Przydomowe oczyszczalnie ścieków na terenach wiejskich – cz. III. *Inżynier Budownictwa* 12, 60 – 64.
11. **Labocha A., Świerczyński T. 2003.** Zastosowanie termoplastów do produkcji zbiorników. *Rynek Chemiczny*, 11.
12. Materiały informacyjne firmy KESSEL
13. **Mucha Z., Mikosz J. 2009.** Racjonalne stosowanie małych oczyszczalni ścieków z uwzględnieniem kryteriów zrównoważonego rozwoju. „*Czasopismo Techniczne. Środowisko*,” Wyd. Politechniki Krakowskiej, zeszyt 2-Ś.
14. **Osmulska-Mróż B. 1995.** Lokalne systemy unieszkodliwiania ścieków. *Poradnik Instytutu Ochrony Środowiska*, Warszawa.
15. Praca zbiorowa, 2007. 50 najważniejszych technologii globalnego przemysłu tworzyw. *Wydawnictwo Business Image*, Warszawa.
16. **Rosen P. 2002.** Przydomowe oczyszczalnie ścieków. *Centralny Ośrodek Informacji Budownictwa*, Warszawa.
17. Rotational Molding: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Rotational\\_Molding\\_Process.svg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Rotational_Molding_Process.svg),
18. **Sikora R. 1993.** Przetwórstwo tworzyw wielkocząsteczkowych. *Wydawnictwo Edukacyjne Zofii Dobkowskiej*, Warszawa.
19. **Stańko G., Heidrich Z. 2007.** Leksykon przydomowych oczyszczalni ścieków. *Warszawa: Seidel – Przywecki*.
20. **Żuchowska D. 2002.** Polimery konstrukcyjne. *Wydawnictwo Naukowo-Techniczne*, Warszawa.

#### THE MANUFACTURE BULKY TANKS AND CONTAINERS FROM POLYMERIC MATERIALS

**Summary.** This paper presents technologies used in the manufacture of tanks and containers (especially bulky) from polymeric materials. Were discussed classification methods for their manufacturing. Classification was based on the criteria of destiny of tanks, the type of material used and used technology. Paper also describes the issues of manufacturing manholes from polymeric materials.

**Key words:** plastic, tanks and containers, manufacturing technologies

## WPLYW NAWOŻENIA AZOTEM NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE NASION SOI

*Piotr Kuźniar, Waclaw Jarecki, Stanisław Sosnowski, Józef Gorzelany, Dorota Bobrecka-Jamro*

*Uniwersytet Rzeszowski*

*ul. Zelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów, E-mail: pkuzniar @ur.edu.pl*

**Streszczenie.** Celem pracy była ocena wpływu formy nawozu azotowego i nawożenia dolistnego na właściwości mechaniczne nasion soi Aldana. Pojedyncze nasiona obciążano w kierunku prostopadłym do płaszczyzny podziału ich liścieni ze stałą prędkością  $v=10 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ . Parametry wytrzymałościowe nasion soi Aldana były zróżnicowane dla lat badań. Zastosowanie przy uprawie soi azotu w dawce  $25 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , jak również szczepienie nasion Nitraginą w połączeniu z dawką startową azotu zwiększyło istotnie wielkość siły niszczącej i umownego modułu sprężystości, czyli wytrzymałość nasion na uszkodzenia mechaniczne. Parametry wytrzymałościowe nasion soi Aldana miały nieznacznie większą średnią wartość przy wariancie uprawy z nawożeniem dolistnym.

**Słowa kluczowe:** nasiona soi, nawożenie dolistne, forma azotu, właściwości mechaniczne

### WSTĘP

Nasiona roślin strączkowych cechuje korzystny skład chemiczny, w tym zawartość substancji bioaktywnych. W licznych badaniach stwierdzono korzystny wpływ niektórych z nich na zdrowie człowieka. Dlatego też nasiona roślin strączkowych są polecane do spożycia jako żywność profilaktyczna [7, 11]. Pomimo, że uprawa roślin strączkowych przynosi wielorakie korzyści to zajmują one około 1% w krajowej strukturze zasiewów. Za główną przyczynę tego stanu rzeczy wymienia się import taniej śrutu sojowej, jako komponenta pasz przemysłowych. Z uwagi na fakt, że znaczna część importowanej śrutu sojowej pochodzi z upraw modyfikowanych genetycznie podjęto w Polsce starania zmierzające do zwiększenia produkcji roślin strączkowych. Również naukowcy są zgodni, że należy znacznie zwiększyć w Polsce areal strączkowych [8, 10].

Ważnym problemem w uprawie roślin strączkowych jest duża wrażliwość ich nasion na uszkodzenia mechaniczne powstające podczas zbioru i przetwórstwa, co przejawia się znacznymi stratami ilościowymi i jakościowymi. Wysoka podatność nasion roślin strączkowych na uszkodzenia mechaniczne wynika głównie z ich budowy. W odróżnieniu od ziarna zbóż, występują w nich dwa liścienie, pomiędzy którymi, przy niskich zawartościach wody, może powstać szczelina, ułatwiająca m.in. rozpadanie się nasion na połowki [5, 12, 15]. Istotny wpływ na powstawanie uszkodzeń nasion ma także ich

wilgotność, która decyduje o elastyczności i odporności na uszkodzenia nie tylko liścieni, ale także okrywy nasiennej [1, 2, 6, 13]. Na powstawanie uszkodzeń nasion wpływa również ich masa, wielkość i kształt, grubość okrywy nasiennej i skład chemiczny [2 - 4, 6].

Celem pracy była ocena wpływu formy dostępnego azotu i nawożenia dolistnego na wybrane właściwości mechaniczne nasion soi.

### METODYKA BADAŃ

Ścisłe doświadczenia polowe przeprowadzono w latach 2011-2013 na polu Stacji Doświadczalnej Oceny Odmian w Przecławiu ( $50^{\circ}11' \text{ N}$ ,  $21^{\circ}29' \text{ E}$ , wysokość 185 m n.p.m.). Eksperyment przeprowadzono w czterech powtórzeniach a założono metodą split-plot.

Doświadczenie obejmowało dwa czynniki:

I. Forma dostępnego azotu:

- kontrola;
- Nitragina (szczepienie nasion);
- dawka startowa azotu ( $25 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ );
- Nitragina z dawką startową azotu ( $25 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ );

II. Dokarmianie dolistne (Basfoliar 6-12-6) i kontrola).

Eksperyment założono na glebie należącej do kompleksu pszennego dobrego, klasy bonitacyjnej IIIa, kategorii agronomicznej zaliczanej do gleb średnich. Charakteryzowała się odczyn obojętnym i o średniej do wysokiej zasobności przyswajalnego fosforu i potasu.

Nawożenie fosforowo-potasowe zastosowano jesienią w formie superfosfatu potrójnego granulowanego i soli potasowej. Nawożenie fosforowo-potasowe zastosowano jesienią w formie superfosfatu potrójnego granulowanego i soli potasowej i wynosiło  $70 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  i  $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ . Azot stosowano jako czynnik badawczy. Dokarmianie dolistne preparatem Basfoliar 6-12-6 przeprowadzono dwukrotnie (przed i po kwitnieniu  $2 \times 10 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) a ilość cieczy roboczej wyniosła  $300 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Nitragina pochodziła z firmy Biofood Wałcz. Chwasty zwalczano tylko mechanicznie, nie stosowano również fungicydów i insektycydów.

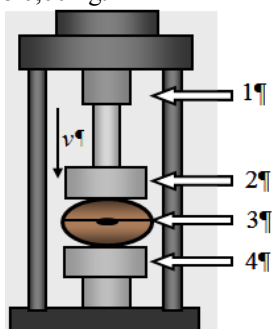
Warunki pogodowe (tab. 1) przedstawiono na podstawie danych Stacji Doświadczalnej Oceny Odmian w Przecławiu. Były one zróżnicowane latach badań. W lipcu 2011, oraz maju i czerwcu 2013 r. wystąpiły intensywne opady deszczu, przekraczające średnie dla wielolecia

**Tabela 1.** Warunki pogodowe w Przecławiu  
**Table 1.** Weather conditions in Przecław

Miesiąc	Opady/Rainfall (mm)				Średnie temperatury (°C)			
	2011	2012	2013	Wielolecie	2011	2012	2013	Wielolecie
III	12,5	27,8	73,6	35,7	2,8	3,9	-1,2	2,6
IV	52,3	21,7	39,4	48,3	10,0	9,9	8,8	8,8
V	38,1	66,7	111,7	38,0	13,8	14,7	15,0	14,2
VI	78,6	66,9	192,4	79,4	18,1	18,2	18,5	17,5
VII	291,8	65,6	58,3	100,8	18,5	20,9	19,4	19,4
VIII	58,6	61,8	21,2	70,8	19,1	18,8	18,6	18,1
IX	5,2	55,0	68,6	54,7	15,0	14,3	11,4	13,3
III-IX	537,1	365,5	565,2	427,7	13,9	14,4	12,9	13,4

Źródło: dane Stacji Doświadczalnej Oceny Odmian w Przecławiu

Właściwości mechaniczne nasion określono w warunkach obciążeń quasi statycznych za pomocą maszyny wytrzymałościowej Zwick/Roell 2010. Nasiona były obciążane w kierunku prostopadłym do płaszczyzny podziału liścieni, ze stałą prędkością  $v = 10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ . Pomiar przeprowadzono przy wilgotności nasion ok. 13%. Liczebność próby wynosiła po 20 nasion dla każdego wariantu. Przed obciążaniem określono masę nasion  $m$  wagą elektroniczną z dokładnością do 0,001 g.



**Rys. 1.** Schemat stanowiska pomiarowego: 1 – ruchoma belka z czujnikiem siły, 2 i 4 – uchwyty do próby ściskania, 3 – badana próbka.

**Fig. 1.** Measurement stand: 1 – moving crosshead with force sensor, 2 i 4 – fixtures for compression tests, 3 – sample.

Za pomocą maszyny wytrzymałościowej określono:

- siłę niszczącą -  $F$  (N),
- pracę siły niszczącej -  $W$  (mJ),
- bezwzględne odkształcenie wzdłużne przy sile niszczącej -  $\Delta L$  (mm).
- umowny moduł sprężystości -  $E$  (MPa).

Wykorzystując zmierzone wartości obliczono odkształcenie względne przy sile niszczącej ze wzoru [9, 14]:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{G} 100\%, \quad (1)$$

gdzie:  $\varepsilon$  – odkształcenie względne, (%);  $\Delta L$  – bezwzględne odkształcenie wzdłużne, (mm);  $G$  – grubość nasiona przed ściskaniem, (mm).

Na masę nasion soi Aldana istotnie statystycznie wpływała jedynie forma azotu (tab. 2).

**Tabela 2.** Masa [mg] nasion soi Aldana  
**Table 2.** Weight [mg] of soybeans Aldana

Nawożenie dolistne	Forma dostępnego azotu	2011	2012	2013	Średnia trzyletnia
Bez nawożenia dolistnego	Kontrola	167 a	171 a	164 a	167 a
	Nitragina	164 a	177 ab	188 bc	176 a
	Dawka startowa azotu	198 b	184 ab	179 ab	187 b
	Nitragina+ dawka startowa azotu	184 b	186 b	195c	189 b
	Średnia	178	180	182	180
Nawożenie dolistne	Kontrola	185 b	169 a	173 ab	175 ab
	Nitragina	166 a	174 ab	172 a	171 a
	Dawka startowa azotu	191 b	187 bc	189 b	189 c
	Nitragina+ dawka startowa azotu	180 ab	190 c	180 ab	184 bc
	Średnia	181	180	179	180
Średnia	Kontrola	176 ab	169 a	168 a	171 a
	Nitragina	165 a	175 a	180 b	174 a
	Dawka startowa azotu	194 c	186 b	184 b	188 b
	Nitragina+ dawka startowa azotu	182 bc	188 b	188 b	186 b
	Średnia	179	180	180	180

\*Różne litery w kolumnach oznaczają istotność różnic przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$

\*Different letters in columns signify significant differences for the significance level  $\alpha = 0,05$

Największą masą charakteryzowały się nasiona soi Adana, w uprawie której zastosowano dawkę startową azotu, oraz łącznie dawkę startową ze szczepionką Nitragina. Istotna była także interakcja roku uprawy i formy azotu.

Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej za pomocą programu Statistica 10, którym wykonano trzyczynnikową analizę wariancji oraz test istotności NIR przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ .

#### WYNIKI BADAŃ

Przeprowadzona trzyczynnikowa analiza wariancji wykazała istotne zróżnicowanie analizowanych parametrów wytrzymałościowych nasion soi Aldana dla lat badań i brak wpływu nawożenia dolistnego. Na wielkość siły niszczącej i umownego modułu sprężystości istotnie wpływała także forma azotu. Dla modułu sprężystości istotne były również interakcje

roku uprawy i formy azotu oraz roku uprawy i nawożenia dolistnego.

Z analizowanych parametrów wytrzymałościowych nasion soi Aldana siła niszcząca, odkształcenie względne i praca siły niszczącej były największe w roku 2013, który charakteryzował się znacznie większą od wielolecia sumą opadów zwłaszcza w maju i czerwcu, a najmniejsze dla wariantu uprawy bez nawożenia dolistnego w roku 2011, zaś po zastosowaniu nawożenia dolistnego w roku 2012. Umowny moduł sprężystości nasion natomiast był największy w roku 2011, a najmniejszy w roku 2013, z tym że różnice te nie były istotne statystycznie. Wszystkie analizowane parametry wytrzymałościowe nasion soi Aldana miały nieznacznie większą średnią wartość przy wariancie uprawy z nawożeniem dolistnym.

**Tabela 3.** Wartości parametrów wytrzymałościowych nasion soi Aldana dla lat 2011-2013

**Table 3.** The values of strength parameters of soybeans Aldana for the years 2011-2013

Wyszczególnienie	Nawożenie dolistne	2011	2012	2013	Średnia trzyletnia
Siła niszcząca [N]	Bez nawożenia dolistnego	159,3	159,3	168,5	162,4
	Z nawożeniem dolistnym	164,7 ab	157,9 a	170,8 b	164,5
	Średnia	162,0 ab	158,6 a	169,6 b	163,4
Odkształcenie przy sile niszczącej [%]	Bez nawożenia dolistnego	4,9 a	5,12 a	5,99 b	5,34
	Z nawożeniem dolistnym	4,9 a	4,84 a	7,01 b	5,57
	Średnia	4,9 a	4,98 a	6,50 b	5,46
Praca siły niszczącej [mJ]	Bez nawożenia dolistnego	22,3 a	24,3 a	34,1 b	26,9
	Z nawożeniem dolistnym	22,6 a	22,4 a	41,1 b	28,7
	Średnia	22,5 a	23,4 a	37,6 b	27,8
Umowny moduł sprężystości [MPa]	Bez nawożenia dolistnego	4166	3869	3767	3934
	Z nawożeniem dolistnym	4377	3899	3574	3950
	Średnia	4272	3884	3670	3942

\*Różne litery w wierszach oznaczają istotność różnic przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$

\*Different letters in rows signify significant differences for the significance level  $\alpha = 0,05$

Nasiona soi charakteryzowały się najmniejszą wartością siły niszczącej (tab. 4) dla kontroli, zaś największą po zastosowaniu łącznie Nitraginy i dawki startowej azotu zarówno przy nawożeniu dolistnym, jak i jego braku. Najmniejszą wartość odkształcenia i pracy przy uprawie bez nawożenia dolistnego, odnotowano po zastosowaniu Nitraginy (5,04% i 23,5mJ), zaś w przypadku nawożenia dolistnego po zastosowaniu dawki startowej (5,16% i 26,7mJ). Największą wartość pracy i odkształcenia przy uprawie bez nawożenia dolistnego odnotowano po zastosowaniu dawki startowej (5,59% i 30,7mJ), zaś po zastosowaniu nawożenia dolistnego i Nitraginy było to 5,94% i 30,5mJ.

Odnotowano istotny wpływ formy dostępnego azotu jedynie na wartość siły niszczącej i umownego modułu sprężystości dla wariantu uprawy bez nawożenia dolistnego i dla średniej z obydwu zastosowanych wariantów uprawy. Powyższe parametry wytrzymałościowe nasion soi były istotnie największe po zastosowaniu w uprawie soi dawki startowej azotu, oraz łącznie preparatu Nitragina i dawki startowej azotu. Zaś najmniejszą siłą niszcząca i umownym modułem sprężystości charakteryzowały się nasiona soi dla kontroli, czyli dla uprawy bez dodatku azotu. Taka sama prawidłowość została odnotowana dla masy nasion (tab. 2).

**Tabela 4.** Średnie trzyletnie wartości parametrów wytrzymałościowych nasion soi Aldana  
**Table 4.** Average three-year value of the strength parameters of soybeans Aldana

Nawożenie dolistne	Forma dostępnego azotu	Siła niszcząca [N]	Odkształcenie przy sile niszczącej [%]	Praca siły niszczącej [mJ]	Umowny moduł sprężystości [MPa]
Bez nawożenia dolistnego	Kontrola	149,8 a	5,44	25,1	3659 a
	Nitragina	157,5 a	5,04	23,5	3927 b
	Dawka startowa N	171,1 b	5,59	30,7	4115 b
	Nitragina+dawka startowa N	171,0 b	5,31	28,3	4035 b
	Średnia	162,4	5,34	26,9	3934
Znawożenie mdolistnym	Kontrola	161,9	5,73	29,4	3862
	Nitragina	163,9	5,94	30,5	3863
	Dawka startowa N	164,2	5,16	26,7	4083
	Nitragina+dawka startowa N	167,9	5,44	28,2	3992
	Średnia	164,5	5,57	28,7	3950
Średnia	Kontrola	155,9 a	5,58	27,3	3761 a
	Nitragina	160,7 ab	5,49	27,0	3895 ab
	Dawka startowa N	167,7 b	5,37	28,7	4099 c
	Nitragina+dawka startowa N	169,4 b	5,37	28,3	4013 bc
	Średnia	163,4	5,46	27,8	3942

\*Różne litery w kolumnach oznaczają istotność różnic przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$

\*Different letters in columns signify significant differences for the significance level  $\alpha = 0,05$

Można więc stwierdzić, że zastosowanie przy uprawie soi azotu w dawce  $25 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , jak również szczepienie nasion Nitraginą – zwłaszcza w połączeniu z dawką startową zwiększa masę nasion i ich wytrzymałość na uszkodzenia mechaniczne. Potwierdza to wnioski Kuźniara i in. 2013 z badań nasion soi, bobiku i łubinu, że wzrost ich masy wpływał na zwiększenie ich odporności na uszkodzenia.

#### WNIOSKI

1. Parametry wytrzymałościowe nasion soi Aldana były zróżnicowane dla lat badań. Siła niszcząca, odkształcenie względne i praca siły niszczącej były największa w roku 2013, który charakteryzował się znacznie większą od wielolecia sumą opadów.

2. Zastosowanie przy uprawie soi azotu w dawce  $25 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , jak również szczepienie nasion Nitraginą w połączeniu z dawką startową azotu zwiększyło istotnie wielkość siły niszczącej i umownego modułu sprężystości, czyli wytrzymałość nasion na uszkodzenia mechaniczne.

3. Wszystkie analizowane parametry wytrzymałościowe nasion soi Aldana miały nieznacznie większą średnią wartość przy wariancie uprawy z nawożeniem dolistnym.

#### LITERATURA

- Dobrzański B., Rybczyński R. 1996.** Niektóre właściwości fizyczne nasion roślin strączkowych. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 425: 43-48.
- Dobrzański B. 1998.** Mechanizmy powstawania uszkodzeń nasion roślin strączkowych. Acta Agrophysica 13: 13-20.
- Dorrel, D.G.; Adams M.W. 1969.** Effect of some seed characteristics on mechanically induced seed coat damage in navy beans. Agronomy Journal, 5, 672-673.
- Evans, M.D.; Holmes, R.G.; Mc Donald, M.B. 1990.** Impact damage to soybean seed as affected by surface hardness and seed orientation. Transaction of the ASAE, 1, 234-240.
- Gorzelany J. Puchalski C. 1994.** The effect of loading-force direction and magnitude on mechanical damage to horse bean seeds. Zemědělska Technika 40 (2): 105-112.
- Hebda T. Frączek J. 2005.** Wpływ wybranych czynników na wartość wskaźnika odkształcenia nasienia. Inżynieria Rolnicza 11 (71), 171-180.
- Jasińska Z., Kotecki A. 1993.** Rośliny strączkowe. PWN, Warszawa.
- Jerzak M.A., Czerwińska – Kayzer D., Florek J., Śmiglak – Krajewska M. 2012.** Determinanty produkcji roślin strączkowych jako alternatywnego źródła białka – w ramach nowego obszaru polityki rolnej w Polsce. Roczniki Nauk Rolniczych, seria G, T. 99, z.1, 113-120.
- Kuźniar P., Jarecki W., Bobrecka-Jamro D. 2013.** Właściwości mechaniczne nasion wybranych roślin strączkowych a ich masa i grubość. Inżynieria Rolnicza. 4(147)T.1, 171-177.
- Majchrzycki D., Pepliński B., Baum R. 2002.** Oplacalność uprawy roślin strączkowych jako alternatywnego źródła białka paszowego. Roczniki Akademii Rolniczej w Poznaniu. CCCXLIII (1), 129-136.
- Schmitt M. A., Lamb J. A., Randall G. W., Orf J. H., Rehm G. W. 2001.** In-season fertilizer nitrogen applications for soybean in Minnesota. Agron. J. 93, 983 - 988.
- Sosnowski S. 1991.** Determining of the influence of the direction of loading forces on mechanical damage of bean seeds. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 389, 176-183.

13. **Sosnowski S., Kuźniar P. 1999.** Effect of dynamic loading on the quality of soybean. *International Agrophysics* 13, 125-132.
14. **Szymanek M., Sobczak P. 2009:** Some physical properties of spelt wheat seed. *TEKA Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*, 9, 310–320.
15. **Żabiński A. 2006.** Wytrzymałość doraźna nasion dwóch podgatunków soczewicy jadalnej (*Lens culinaris Medic.*). *Inżynieria Rolnicza*, 12(87), 565-572.

EFFECT OF NITROGEN FERTILIZATION ON  
SELECTED MECHANICAL PROPERTIES OF  
SOYBEANS

**Summary.** The aim of the study was to evaluate the effect of forms of nitrogen fertilizer and foliar ferti-

lization on the mechanical properties of soybeans Aldana. Single seeds were loaded in a direction perpendicular to the plane of division of the cotyledon with a constant velocity  $v = 10 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ . The strength parameters of soybeans Aldana were varied for years of research. The use of nitrogen in the cultivation of soybeans at a dose of  $25 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ , as well as vaccination of seeds *Nitragina* in combination with a starting dose of nitrogen significantly increased the size of destructive force and apparent modulus of elasticity, strength or mechanical damage of seeds. The strength parameters of soybeans Aldana had a slightly higher average value with variant growing from foliar application.

**Key words:** soybeans, foliar application, a form of nitrogen, mechanical properties





## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА КОМБИКОРМОВ И ДИЗЕЛЬНОГО БИОТОПЛИВА

*Геннадий Голуб, Максим Павленко, Оксана Ачкевич*  
*Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины*  
*ул. Героев Оборона, г. Киев, 15 Украина. E-mail: maxim\_pavlenko@i.ua*

*Gennadii Golub, Maksym Pavlenko, Oksana Achkevych*  
*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*  
*Str. Heroiv Oborony, 15, Kiev, Ukraine. maxim\_pavlenko@i.ua*

**Аннотация.** Представлена технологическая схема производства комбикормов и дизельного биотоплива в условиях хозяйств. Схема обеспечивает получение масла холодного отжима для пищевых целей, масла повторного горячего отжима для производства дизельного биотоплива и жмыха для приготовления комбикорма в качестве белковой добавки.

Приведена трехстадийная схема смешивания комбикорма, при которой на первом этапе готовится смесь микрокомпонентов, на втором этапе белково-витаминные и минеральные добавки, на третьем этапе комбикорма. Установлен уровень равномерности смешивания компонентов на каждом этапе. Обосновано использование жмыхов масличных культур в кормлении животных.

Определена последовательность технологических операций, подобраны комплекты оборудования для технологических процессов переработки семян масличных культур в масла и жмых, производства дизельного биотоплива и сбалансированного комбикорма.

Обоснована целесообразность использования двухступенчатой технологии отжима растительного масла для уменьшения стоимости производства дизельного биотоплива в агропромышленной технологии для фермерских хозяйств.

**Ключевые слова:** технологическая схема, комбикорм, дизельное биотопливо, масло, жмых.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Продовольственная, энергетическая и экологическая безопасность являются наиболее актуальными проблемами человечества. Значительное внимание уделяется этим вопросам и в Украине. На отечественный аграрный сектор возложена основная ответственность за обеспечение продуктами питания достаточного количества и заданного качества, а также за экономию и производство энергетических ресурсов. Это касается как развития всей отрасли в целом, так и каждого отдельного хозяйства. Поиск энергосберегающих технологий производства качественной сельскохозяйственной продукции является перспективной научной задачей.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

В структуре валовой продукции сельского хозяйства животноводство составляет значительную часть. Выручка от реализации продукции животноводства у 2013 году становила 23,7% от общей выручки сельскохозяйственных предприятий [1]. Его задачи заключаются в производстве высококачественных продуктов питания и сырья для пищевой и легкой промышленности. На кормление сельскохозяйственных животных приходится более половины материальных, трудовых и энергетических затрат по получению животноводческой продукции. Поэтому на всех этапах развития аграрного производства ресурсосбережение при кормлении оставалось одной из актуальных задач развития животноводческой отрасли [2].

В связи с разукрупнением животноводческих ферм основная часть комбикормов производится непосредственно в хозяйствах на фермерских комбикормовых агрегатах. При этом предполагается использовать зерно собственного производства и закупленные добавки [3-5].

В Украине накоплен определенный опыт производства кормовых добавок комбикормовыми предприятиями. В начале 90-х годов стремительно выросли объемы зарубежной продукции: премиксов, витаминов, минеральных блендов, кормовых препаратов, ферментов польского, бельгийского, чешского, немецкого и французского производства. В 2007 г. отечественное производство кормовых добавок составляло лишь 30% от общего потребления [6, 7].

В качестве белковых добавок в корм для скормливания животным используется измельченное зерно гороха, сои, а также вещества богатые белком (мясокостная мука, дрожжи, травяная мука). По содержанию жира среди белковых веществ преобладает жмых (7-10 % жира) и шрот (2,5 %). При использовании концентрированных кормов, треть которых приходится на высокобелковые шроты и жмыхи подсолнечника, надои коров можно повысить до 15-18 кг в сутки [8].

Большинство небольших хозяйств, которые имеют фермерские комбикормовые агрегаты, по разным причинам не имеют возможности закупить готовые смеси добавок. Поэтому возникает вопрос приобретения отдельных компонентов и изготовле-

ние из них смесей по упрощенным технологиям с использованием собственного, как зернового сырья, так и продуктов его переработки.

Что касается энергосберегающих технологий, в хозяйствах широкое использование приобрела агропромышленная технология производства растительного масла и дизельного биотоплива (сокращенный вариант промышленных технологий, специально адаптированных для удовлетворения потребностей хозяйств в дизельном топливе). Производство дизельного биотоплива позволяет решить задачи с обеспечением топливом сельскохозяйственных предприятий при выполнении механизированных работ с использованием техники, работающей на дизельных двигателях [9-12].

Технология производства растительного масла включает следующие основные этапы: подготовка зерна к получению масла; получения и очистки масляной массы [13-19], а производства дизельного биотоплива, кроме того – этерификацию и очистку метилового эфира (дизельного биотоплива). Жмых, как продукт переработки семян масличных культур в дизельное топливо, целесообразно применить в

качестве белковой добавки при производстве комбикормов в условиях хозяйств.

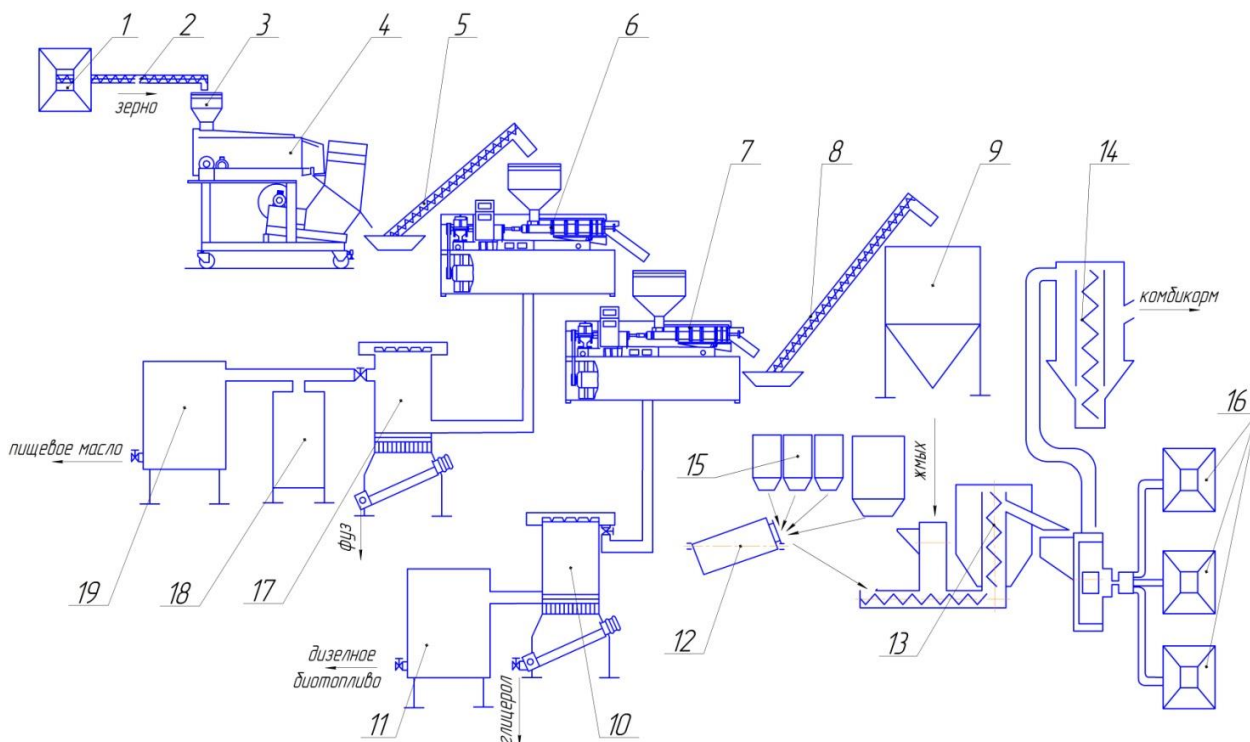
Поэтому, для эффективного использования ресурсов хозяйства необходимо искать новые пути повышения энергоэффективности и производства качественных кормов.

#### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Усовершенствовать технологическую схему производства комбикормов с использованием собственного зернового сырья хозяйства и продуктов переработки зерна масличных культур в дизельное биотопливо.

#### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

На основе проведенных научных исследований, нами обоснованы основные параметры технологической схемы (рис. 1), которая позволяет производить дизельное биотопливо в условиях хозяйств и комбикорма, используя собственное зерновое сырье хозяйств и жмыхи.

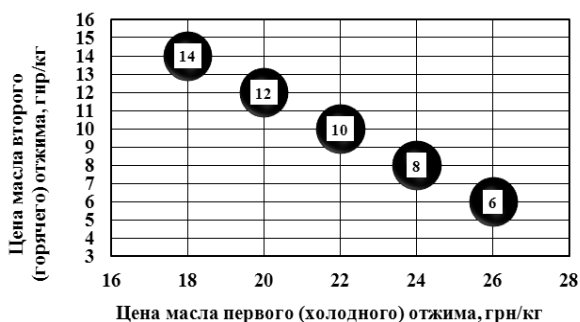


**Рис. 1.** Технологическая схема производства комбикормов и дизельного биотоплива в условиях хозяйств: 1 – бункер для зерна масличных культур; 2 – конвейер пружинный; 3 – приемный бункера зерна; 4 – комплекс зерноочистительный; 5 – шнековый транспортер; 6 – пресс шнековый – экструдер холодного отжима; 7 – пресс шнековый – экструдер горячего отжима; 8 – шнековый транспортер; 9 – бункер жмыха; 10 – эстерификатор; 11 – резервуар для хранения дизельного биотоплива; 12 – смеситель микродобавок; 13 – вертикально-шнековый смеситель БМВД; 14 – вертикально шнековый смеситель комбикорма; 15 – емкости для хранения кормовых добавок; 16 – бункер для хранения зерновых компонентов; 17 – отстойник масла; 18 – кристаллизатор; 19 – емкость для хранения пищевого масла

**Fig. 1.** Technological scheme of production of animal feed and biodiesel in a farm: 1 – grain tank oilseeds; 2 – conveyor spring; 3 – receiving hopper grain; 4 – Grain-cleaning complexes; 5 – screw conveyor; 6 – screw press-extruder cold pressed; 7 – Press the screw-extruder hot pressed; 8 – screw conveyor; 9 – bunker oil cake; 10 – esterifikator; 11 – storage tank for biodiesel; 12 – microadditions mixer; 13 – vertical auger mixer BMVD; 14 – vertical screw mixer of feed; 15 – container for storing feed supplements; 16 – tank for storage of grain components; 17 – oil sump; 18 – mold; 19 – container for storing food oils

Необходимо заметить, что для уменьшения стоимости производства дизельного биотоплива в агропромышленной технологии для фермерских хозяйств целесообразно использовать двухступенчатую технологию отжима растительного масла. А именно холодного первого отжима для пищевых потребностей и горячего второго – для производства дизельного биотоплива.

Зависимости на рис. 2 получены исходя из основной цены масла 16 грн/кг. Установлено, что цена масла второго (горячего) отжима уменьшается при увеличении цены масла первого (холодного) отжима. Так, например, при одинаковых коэффициентах выхода масла первого (холодного) и второго (горячего) отжима, цена масла второго (горячего) отжима составит 14 грн/кг. Аналогично, при цене масла первого (холодного) отжима 26 грн/кг, цена масла второго (горячего) отжима составит 6 грн/кг. Принцип действия двухступенчатой схемы производства растительного масла таков: зерно масличных культур влажностью не более 7% доставляется автомобильным транспортом от места хранения и затем поступает в зерноочистительную машину.



**Рис. 2.** Зависимость цены второго (горячего) отжима от цены масла первого (холодного) отжима при основной цене масла 16 грн/кг

**Fig. 2.** Dependence of the price of the second (hot) push the price of oil first (cold) pressed at the main oil price of 16 USD / kg

Далее очищенное зерно поступает на пресс шнековый холодного отжима, где осуществляются первичное отжимание масла. Масло первого холодного отжимания целесообразно использовать для пищевых целей. Пищевые масла холодного отжимания имеют многогранное положительное влияние на организм человека. Они содержат целебные полиненасыщенные жирные кислоты, жирорастворимые витамины А, D, E, обладающие антиоксидантными свойствами, стимулируют иммунитет, имеют антиатеросклеротическое действие, положительно влияют на функции печени и желудочно-кишечного тракта [20, 21].

Очистка растительного масла происходит путем отстаивания. Очищенное растительное масло закачивается в отстойник, где оно за счет силы гравитационного притяжения разделяется на две фракции: очищенное растительное масло и фуз. Далее отстоявшееся растительное масло перекачивается в кристаллизатор, где оно подвергается процессу винтеризации.

Процесс винтеризации заключается в медленном охлаждении растительного масла до температуры 6°C с добавлением перлита, который способствует лучшему осаждению кристаллов воска и ускоряет кристаллообразования. При достижении температуры в кристаллизаторе 6°C растительное масло отстаивается в течение 12 часов при медленном перемешивании. После окончания процесса винтеризации охлажденное растительное масло с образованным осадком перекачивают в отстойник для дальнейшей очистки от восковых остатков. Очищенное от восков растительное масло перекачивается в емкость для хранения. В зависимости от потребностей масло используют на пищевые потребности.

После первичного отжима жмых с остатками масляной массы самотеком поступает на пресс шнековый горячего отжима. Полученное масло используется для производства дизельного биотоплива.

Агропромышленная технология производства дизельного биотоплива состоит из: этерификации, разделения на фракции метилового эфира (дизельного биотоплива) и глицерина (побочного продукта при производстве дизельного биотоплива), очистки дизельного биотоплива (отгонки метанола и очистки от гелеобразного осадка путем фильтрации или осаждения).

Пройдя повторный отжим жмых выгружается транспортером в бункер накопитель, с которого выгружается для дальнейшего использования при приготовлении полноценных комбикормов.

Особенность оборудования для производства полноценных комбикормов в условиях хозяйств состоит в том, чтобы достичь необходимой равномерности распределения каждого из компонентов в общей массе смеси комбикорма при упрощении технологии и уменьшении структурных элементов комплекта оборудования. При таких условиях получение конечного продукта высокого качества существенно затрудняется. Причина этого заключается в значительном отличии содержания отдельных компонентов в смеси, обусловленное рационом.

Проведенный анализ рекомендованных рецептов комбикормов показал, что для разных видов животных, их возрастных групп и направлений выращивания, содержание белково-витаминно-минеральных добавок (БВМД) составляет от 10 до 25% от общей массы комбикорма.

Вместе с тем, в составе БВМД содержание компонентов более разнообразно. Так вещества богатые белком, а также компоненты, которые используются в качестве наполнителей (отруби и измельченные фуражное зерно), находятся в сопоставимых пропорциях (от 8 до 33 %), а минеральные вещества (мел, поваренная соль, трикальций фосфат) содержатся в количестве от 1 до 4%. Кроме того, БВМД обогащаются витаминами, микроэлементами, ферментами, антибиотиками, содержащимися в премиксах. Премиксы вводят для птицы до 4%, для свиней 5% и для крупного рогатого скота 5-7%.

Таким образом, по отношению к зерновым компонентам наличие белковых веществ на порядок меньше, а минеральных и премиксов меньше на два

порядка. В этом случае целесообразно применить трехстадийную схему смешивания, при которой на первом этапе будет готовиться смесь микрокомпонентов, на втором этапе белково-витаминные и минеральные добавки, на третьем этапе комбикорма. Для получения качественного комбикорма, по равномерности смешивания, необходимо чтобы каждая предыдущая смесь имела высший ее уровень.

Необходимое качество перемешивания компонентов в общей массе смеси происходит при условии, что каждый из компонентов составляет не менее 10-20%. Для доведения количества начальных смесей к этим величинам, в случае необходимости, необходимо использовать кормовые наполнители.

Так как к смесителю микродобавок наиболее высокие требования относительно равномерности, то для смешивания компонентов, которые находятся в микродозах, целесообразно использовать смеситель порционного типа. Исследования показали, что высокий уровень смешивания компонентов кормовых добавок дает барабанный смеситель с наклонной осью камеры относительно оси вращения. Его использование обеспечивает равномерность от 95 до 98%.

БМВД и готовый комбикорм смешиваются в вертикально-шнековых смесителях непрерывного действия разных объемов. Полученный при повторном горячем отжиге жмых поступает в вертикальный смеситель, обогащая комбикорм белковыми веществами и жирами.

#### ВЫВОДЫ

Усовершенствованная технологическая схема производства комбикормов и дизельного биотоплива в условиях хозяйств позволяет обеспечить производство полноценного комбикорма, используя в качестве белковой добавки жмых, остающийся после двухступенчатого отжима растительного масла. Причем масло после первого холодного отжима целесообразно использовать в пищевых целях, а полученное после повторного горячего отжима – для производства дизельного биотоплива.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Статистический, 2014.** Статистический бюллетень "Основные экономические показатели производства продукции сельского хозяйства в сельскохозяйственных предприятиях за 2013". – Государственная служба статистики Украины, Киев, – 84.
2. **Войтюк Д. Г., Ачкевич А. М. 2010.** Исследование истории развития средств приготовления кормосумишек в контексте системного подхода к изучению эволюции кормления животных. – № 4. – 23–32.
3. **Ачкевич А. М., Жученко В. М. 2014.** Обоснование технологической схемы производства комбикормов в условиях хозяйств. Вестник Харьковского национального технического университета сельского хозяйства имени Петра Василенко. – М.: Вып. 144. – 123–127.
4. **Сорокин В. М., Ачкевич А. М. 2010.** Выбор параметрических признаков смесителей комбикормовых добавок в условиях животноводческих ферм. Научный вестник национального университета биоресурсов и природопользования Украины. – К.: – Вып. 144. ч. 2. – 181–188.
5. **Ревенко И. И., Ачкевич О. Н. 2013.** Анализ процесса смешивания кормовых компонентов в смесителе барабанного типа. Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Lublin, – Vol. 15, № 3. – 28–38.
6. **Егоров Б. В., Шаповаленко О. И., Макарянская А. В. 2007.** Технология производства премиксов. – М.: Центр учебной литературы, – 288.
7. **Черняев Н. П. 1983.** Технология комбикормового производства. – М.: Агропромиздат. – 256.
8. **Подобед Л. И.** Чтобы много доить надо хорошо кормить. Available online at: <http://podobed.org/>
9. **Голуб Г. А., Павленко М. Ю., Лукьянец С. В. 2012.** Анализ технологий производства растительного масла и дизельного биотоплива на ее основе. – Исследовательское, Вып. 16 (30), кн. 2. – 391–399.
10. **Павленко М.Ю. 2013.** Анализ технологий производства растительных масел. Научный вестник Национального университета биоресурсов и природопользования Украины. – К., Вып 185, ч.2. – С. 83–87
11. **Голуб Г. А., Павленко М. Ю. 2014.** Оценка сырьевой базы производства дизельного биотоплива при двухступенчатом отжиге растительного масла. Научный вестник Национального университета биоресурсов и природопользования Украины. – К.: ВЦ НУБиП Украины, Вып 194, ч.1. –175–181.
12. **Golub G. A., Pavlenko M. Yu., Olar N. G. 2014.** Оценка сырьевой базы производства дизельного биотоплива при двуступенчатом отжиге растительного масла. MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin, – Vol. 16. № 3. – 26–33.
13. **Белобородов В. В. 1966.** Основные процессы производства растительных масел. – М.: Пищевая промышленность, – 478.
14. **Гончаров Г. И., Буша А. А. 1991.** Технология и оборудование для производства пищевых жиров. – К.: Урожай, – 86.
15. **Кавецкий Г. Д., Васильев Б. В. 2000.** Процессы и аппараты пищевых технологии / 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, – 124–139.
16. **Нагорнов С. А., Дворецкий Д. С., Романцова С. В., Таров В. П. 2010.** Техника и технологии производства и переработки растительных масел: учебное пособие. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, – 5–48.
17. **Тютюнников Б. Н., Науменко П. В., Товбин И. М., Фаниев Г. Г. 1970.** Технология переработки жиров. – М.: Пищевая промышленность, – 29–41.

18. **Файнберг Е. Е., Товбин И. М., Луговой А. В. 1983.** Технологическое проектирование жироперерабатывающих предприятий (рафинация и гидрогенизация жиров). – М.: Лёгкая и пищевая промышленность, – 416.
19. **Осейко М.И. 2006.** Технология растительных масел. Учебник, К.: Варта. – 280 с.
20. Пищевые масла холодного отжима. Available online at: <<http://amrita.club/publ/>>
21. **Андрущенко Д. В., Обычная С. М. 2014.** Особенности формирования Сра-питание. Международная научная конференция, посвященная 130-летию Национального университета пищевых технологий «Новые идеи в пищевой науке – новые продукты пищевой промышленности» 13-17 октября.

#### IMPROVING PRODUCTION SCHEME FEED AND BIODIESEL

**Summary.** The technological scheme of production of animal feed and biodiesel in a farm. The scheme provides a cold-pressed oil for human consumption, oil re hot-pressed to produce biodiesel and cake for the preparation of feed as a protein supplement.

Filed three-stage scheme of mixing feed, in which the first stage of preparing a mixture of micro-components, the second phase of protein-vitamin and mineral supplements, during the third stage feed. It established the level of uniformity of mixing the components at each stage. Justify the use of olives oilcakes crops in animal nutrition.

The sequence of process steps, matched sets of equipment for technological processes of seed crops of olives into oil and meal, production of biodiesel and balanced feed.

The expediency of using a two-stage technology-pressed vegetable oil in order to reduce the cost of production of biodiesel in the agro-technologies for farmers.

**Key words:** Technological scheme, feed, biodiesel, oil, cold pressed, expeller.



## SAFETY AUDIT IN PRODUCTION PROCESS

*Marián Bujna<sup>1</sup>, Maroš Korenko<sup>1</sup>, Vladimír Kročko<sup>1</sup>, Taras Shchur<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Slovak University of Agriculture),*

*Slovak Republic, Trieda Andreja Hlinku 2, 949 01 Nitra*

*<sup>2</sup>Lviv National Agrarian university*

**Summary.** The objective of this monographic is to audit the safety of the selected organization. This paper describes the current issues in the field of safety and health at work and presents the importance and significance of risk management applications. The main objective of this work is its own safety audit, which we have done at the selected Machinery Komax Kappa 310, which is specialized in the production of cable harnesses used in the automotive industry. Through the safety audit, we have identified several shortcomings in safety and the resulting risk. Through the design of appropriate corrective measures we seek to minimize these risks and increase the level of comprehensive security in the organization. The audit can serve the organization as an inspiration for systematically addressing safety issues that will contribute to the optimization of work processes, lower accident rates and, finally, improving the quality of working life. It can also serve as a basis for risk analysis using other methods.

**Key words:** safety audit, automotive, safety, risk

### INTRODUCTION

However, industry globalisation and consolidation, product complexity and the increasingly sophisticated requirements of customers were already leading to a greater emphasis on ensuring that losses were not incurred due to adverse market conditions, counter party failure, or inappropriate controls, systems or people [4, 5, 10, 11, 14].

These factors led to increased regulation, and banking and financial institutions now have to adhere to the principles of banking regulation advocated by the Basel Capital Accord. They must strengthen internal controls, enhance disclosure and transparency of financial information and ensure effective supervision, in order to maintain the sound operation of the banking and financial markets. This includes identifying and quantifying various risks in advance, as well as establishing and carrying out effective risk management.

Audit is a systematic and, wherever possible, independent examination to determine whether activities and related results conform to planned arrangements and whether these arrangements are implemented effectively and are suitable to achieve the organization's policy and objectives [3].

Safety audit is carried out to ensure that unsafe acts and unsafe conditions are brought to a minimum level so that there is a safe work environment. The pur-

**Table 1.** Example of checklist for safety audit

No.	Question	Status	Notation	Evaluation, (%)
1.4	Is an enterprise OHS policy accessible and known to all employees and stakeholders?	P	Some employees are unfamiliar with the OSH policy, despite the fact that it is publicly available (e.g. Wall).	50

pose of safety audit is to ensure that there are definitions and safe procedures for works and the set definitions and safe procedures are practiced.[15-17,19,20] Components of a safety audit may depend upon the type of occupancy but it surely indicates that the management has an attitude towards safety [6-9].

The aim of this work is to perform a security audit on a specific workstation of cable harnesses.

In this paper, we have focused only on the evaluation of the machine itself.

### MATERIAL AND METHODS

*Selection and characterization of the object of the audit* - The first step taken as part of own work consisted of the selection object in which we conduct the safety audit. We selected the object, which is engaged in the assembly and manufacture of cable harnesses used in the automotive industry.

The object of our characteristics was also automated machinery Komax Kappa 310 with which several members of selected department comes into contact.

Preparing for the audit.

*Setting objectives, type, date of the audit and creation of auditing collective* - Among the most important activities necessary for the successful implementation of a security audit is thorough and careful preparation. One of the first steps constitutes a determination of audit objectives, which are identical in order to work in Section 2.

*Study of documentation* - The main emphasis, at the stage of preparation for the audit, was devoted to consistent study of the documentation related to the audit. Consistently we have become familiar with legal requirements, especially with the Act. 124/2006 on OSH as well as other legislation, as listed in the references. Information on the legislation was acquired mainly from the Collection of Laws and on-line resources available (web JASPI). We also became acquainted with the contents of the standard OHSAS 18001 and its requirements. We were inspired by the standard STN EN ISO 19011, which provides guidance on auditing management systems (in our case safety management).

*Preparation of audit questionnaires* - We have devoted a lot of effort to the development auditing matters and creation of questionnaires. Questionnaires represent an important and useful tool that allows us to facilitate audit (table 1).

*Serial number (No.)* - due to the simple identification of various issues, areas and wholes, we chose marking method consisting of two numbers separated by a period (1.4). The first number represents the area ("OSH Policy") from which the question originated and the second number indicates the order of question in this area (questionnaire).

*Question* - This box contains the text of question concerning the examination area within the security audit.

*Status* – alternative evaluations (Y, P, N) expresses the degree of fulfilment of a specific criterion (question), where yes (Y) is used when evaluation by the audit meets the criteria in full (100% corresponds to the one in field of percentage evaluations). Evaluation partially (P) we used when evaluation by the audit fulfilled the criterion only partially but the risk arising from the lack of it is acceptable (10 to 90% inclusive). Evaluation not (N) we use when evaluation by the audit absolutely does not fulfil the criteria or very serious deficiencies are detected (0%).

*Notation* - further expresses the deficiencies found in the audit stage, its content may also express positive findings or may be left blank.

*Evaluation (%)* - percentage expressing the degree of compliance, where a higher score represents a higher level of compliance with the requirements. Box complements state and numerically specifies the degree of fulfilment in the specific criteria (question). Maximum representing 100%. Evaluation is round up to tens of percent, the appropriate box may therefore contain an assessment of 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 or 100 (%).

The assessment is of course largely subjective but the assigning of percentages in the final evaluation was based on the rating scale shown below, which largely increases credibility, optimization and rationalization. Assigned values and ranking system was also consulted with certified safety technician in pursuit of most objective results.

Evaluation scale:

100 (%) - all the requirements are met, there were no disagreements,

70, 80, 90 (%) - minor disagreements were identified although does not have a major impact on the function of the system (failure to fulfil minor requirements to the required extent, date, form, etc.),

40, 50, 60 (%) - detection of more significant defects, but the basic system function is maintained (activities and practices are implemented, but poorly documented, etc.),

10, 20, 30 (%) - Identifying major nonconformities, the system performs its function only minimal (large deficiencies are detected in the documentation and at the same time a lack of procedures realization, activities, etc.),

0 (%) – there is no knowledge about the given request or is not fulfilled at all.

Carrying out the security audit

At this stage, we have collected information and facts concerning the examination of objects, objectives and scope of the security audit.



Fig. 1. Device Komax Kappa 310

Acceptable cut surface (depending on the characteristics of wire)	0,02 – 6 mm <sup>2</sup>	
The maximum outside diameter of wire	10mm	
Cut precision of the wires (deviation)	± (0,2% + 1mm)	
Range of the usable length of the wire	1mm – 700 000 mm	
Maximum sliding speed of wire	4m/s	
Maximum value of stripping length	continuous stripping	Side 1 100mm Side 2 40mm
	partial strip-ping	Side 1 999mm Side 2 999mm
	multiple strip-ping	Side 1 999mm Side 2 999mm
„Short mode“	It can be on/off <57mm	
USB	Standardly (2x)	
interface IOCS	2 (4)	
Noise	<70dB	
Power supply	110/230V ac ± 10%	
Device dimensions (HxWxD)	465x385x460 mm	
Weight	25 kg	

Fig. 2. Characteristics of device Komax Kappa 310

We conducted our security audit at the production site, which deals with the assembly of cable harnesses. Verified workplace is officially labelled as workplace No. 2 and the main product are cable harnesses used in the automotive industry and specifically for installation in electrically operated mirrors of cars.

The object of the security audit is the automatic machinery Komax Kappa 310 (Fig. 1, 2), which is used for the sawing operation and cutting of cable conductors to length as well as the removal of unwanted insulation from the cables [1, 2].

## WORK RESULT

The object of the questionnaire is automatic machinery Komax Kappa 310 which is used for the sawing operation and cutting of cable conductors to length as well as the removal of unwanted insulation from the cables. Such modified wires are then used in other manufacturing and assembly operations. The device inputs are cables and wires that are cut to the correct length, properly insulated and ready for further treatment such as crimping, engaging and installation (Table 2).



**Table 2.** Machinery Komax Kappa 310

No.	Question	Status	Notation	Evaluation (%)
9.1	Is the device suitably located? Has the operator sufficient space required to work with the equipment, manipulating with material and providing good access to the facility?	Y	Around the machinery is a sufficient free space.	100
9.2	Is the wiring equipment designed and adapted in order not to present a danger or explosion? Is it in good condition?	Y		100
9.3	Are precautions to reduce the risk of moving parts of the equipment carried (capture, hit, pushed, crushing of limbs or other body parts)?	Y	A positional safety cover protects moving parts.	100
9.4	Is the device and its surroundings provided with appropriate safety markings?	Y	The floor is a defined space needed for operating the equipment and a sign alerting an increased risk of electric shock.	100
9.5	Was the competent employee trained to a sufficient extent and acquainted with the operating instructions of the device?	Y	Prior working on the machinery the employee was trained and acquainted with the instructions for use of the equipment.	100
9.6	Are operating instructions of the machine available to the operator?	P	Employee knew where to find operating instructions for the machine, but the instructions are not available in the Slovak language (English and German only).	50
9.7	Does the machine operator know where the emergency switch off on the machine is?	Y		100
9.8	Was the employee to a sufficient extent trained in health and safety when operating the machine, and was simultaneously aware of the risks related to handling of the device?	P	The employee could not appoint the risks that can occur while operating the device.	50
9.9	Have employees been assigned with PPE? Are they used to a sufficient extent?	P	Worker is using work clothes and shoes, in addition, he was assigned with protective gloves and goggles, but they are not used consistently.	70
9.10	Is the device maintenance (or repair) carried out at regular intervals? Are there records of carrying out maintenance and repairs?	P	A relevant person carries out maintenance in regular intervals. From the records cannot however be determined what maintenance actions were taken.	70
9.11	Is the machine operator at the workplace and around of the machinery keeping a sufficient order and cleanliness?	Y	Employee always clean the workplace after work and otherwise as required.	100
9.12	Does the machine operator know where to find first-aid tools (first aid kit)?	Y		100
9.13	Does the machine operator know where to find fire extinguishers in case of fire at the workplace?	Y		100

The device is suitably located, is conveniently accessible and generally provides the operator with sufficient space for material handling and machine control. Electrical installation is designed reasonably and in good condition, minimizing the possibility of electric shock. Among the biggest sources of danger, include moving parts that can lead to injury especially to the upper limbs of employee (capture, hit, crushed, etc.). Countermeasures, however, is built as a positional protective cover, subject to respect for the principles of safety practically eliminates the danger. On the floor is located a safety signs defining the space required for operating the equipment as well as a safety mark indi-

ating an increased risk of electric shock. During interviews with machine operator, we found that the employee has been trained to a sufficient extent and is acquainted with the operating instructions of the device. Employees also know Where to find operating instructions for the machine and knew where an emergency off switch is located. We found that employee was trained in occupational safety and health at operating machinery, also knew where means of first aid (first aid kit) and fire extinguisher is to be found. Cleanliness and order at the workplace are exemplary; employee cleans workstation after work and at other times according to needs and circumstances.

**Table 3.** Recommended corrective action – Audit report 4/4

Recommended corrective action ( Annex to audit report 4/4)				
No	Detected unconformity	Corrective action	Responsibility	Deadline
Machinery Komax Kappa 310				
9.6	Operating instructions for that device are only available in English and German.	Translate (within reasonable limits) operating instructions for the device in the Slovak language.	CST	September 2013
9.8	The employee could not appoint the risks that can occur when operating the device.	Re-trained staff of the risks involved with the operation on the device.	CST	July 2013
9.9	Employee while working with the device Komax uses work clothing and footwear, in addition, he was assigned with protective gloves and goggles, but they are not used consistently.	Inspect the use of PPE * and develop a system to control the use of PPE.	CST , PM ;	June 2013 (*immediately)
9.10	From the records on the maintenance and repairs is not possible to determine what maintenance operations have been carried out on the device.	Inform responsible staff (maintenance) that every repair and maintenance operations is recorded and archived in the appropriate form.	CST , Maintenance workers;	Immediately

Legend: CST – certified safety technician, PM – production manager

Among the drawbacks associated with the device, we included the fact that the instructions for operating machines were only available in German and English. The employee also did not know enough to answer the question on the risks associated with the use of equipment, even though he was trained in relevant area. Employee receives the PPE related to the performance of work on the device but only uses regular work clothes and shoes, they have assigned also protective gloves and goggles, but they are not used consistently. Certain deficiencies were related also to the device maintenance even though is carried out regularly, records of the measures (table 3) actually taken are not detailed enough.

#### CONCLUSION

Security audit represents an appropriate tool to use for verification, evaluation, raising awareness and continuous improvement of safety levels, which is useful in organizations of different orientation. It is one of the oldest methods that have been used mainly to identify the sources of risks, but its application is becoming more widely used also at present. Security audit as such constitutes an independent review of the functionality of the security system at a given time and phase of its operation.

The main objective of this work was to draft a questionnaire for audit of selected Machinery Komax Kappa 310.

The highest rating in the questionnaire received “Machinery Komax Kappa 310”, namely 88%, while discovered deficiencies were documentation, usage of PPE and knowledge of operator. We suggested a corrective action, so that we achieve a reduction in risk and improve safety.

This paper was written by of the grant project KEGA no. 035SPU-4/2014 “Integrating innovative trends in metal machining, metrology and quality management in university studies.”

#### REFERENCES

1. **Bielik, M., 2012.** Safety Audit in a Selected Organization [Diploma thesis].
2. British Standard Institution, 2010. BS ISO 31000:2009 Risk management. Principles and guidelines. London: BSI.
3. BS8800: 2004 Guide to Occupational health and safety management systems.
4. **Bujna M., Kotus M., Čičo P. 2014.** Manažérstvo rizika. 1. vyd. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita. 160.
5. **Burda, M., Kotus, M., Burdová, M., Holota, T., Pauliček, T., Zach, M. 2014.** The risk assessment at the workplace of assembly operation. In Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. Vol. 62, no. 5 (2014), 869-874.
6. **Földešiová D., Korenko M., Ferancová M., Bulgakov V. 2014.** Use of the Ishikawa diagram and control plan in the application of FMEA. In Visnik žitomirskogo nacional'nogo agroekologičnogo universitetu. Žitomir: ŽNAEY, 63-71.
7. **Földešiová D., Korenko M., Ferancová M., Kaplík P. 2013.** Analysis of risk using FMEA. In Advanced Materials Research. Vol. 801, special iss. 81-85.
8. **Korenko M. 2014.** Manažérstvo kvality procesov. 1. vyd. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita. 111.

9. **Korenko M., Földešiová D., Máchal P., Kročko V., Beloev Ch. I. 2013.** 5S method as a set of measures to improve quality of production in the organization. In Agricultural, forest and transport machinery and technologies. Vol. 1, no. 1. 27-32.
10. **Kotus M., Burda M., Pauliček T. 2014.** Risk assessment of decreasing the failure of thermal liquid collector. In Management systems in production engineering. No. 1. 10-12.
11. The safety audit of machining center in the manufacturing organization. In Quality, technologies, diagnostics of technical systems: zborník vedeckých prác. 1. vyd. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 2014, 51-54.
12. **Žitňák M. 2013.** Prevádzka a bezpečnosť technických zariadení, first ed., Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, Nitra, 51-54.
13. **Žitňák M., Macák M., Korenko M. 2014.** Assessment of risks in implementing automated satellite navigation systems. In Research in agricultural engineering. Vol. 60, special iss. 16-24.
14. **Korenko Maroš, Beloev Christo Ivanov, Kaplik Pavol. 2013.** Quality control, using PPAP method: scientific monograph. 1. Vyd. Ruse: Angel Kanchev University of Ruse, 16-24.
15. **Korenko Maroš. 2014.** Manažérstvo kvality procesov. 1. Preprac. Vyd. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita, 111.
16. **Földešiová D., Korenko M., Ferancová M., Kaplik P. 2013.** Analysis of risk using FMEA. In Advanced Materials Research, vol. 801, special iss. 81-85.
17. **Korenko M., Peter-Kaplik P. Földešiová D. 2013.** Application of Six sigma methodology in production organization. In Advanced Materials Research. vol. 801, special iss. 87-94.
18. **Тымочко В., Падюка Р. 2014.** Идентификация технических ресурсов в проекте производства сельскохозяйственной продукции с использованием нейронных сетей. MOTROL. An International journal on operation of farm and agri-food industry mashinery. Vol. 16. No. 4. 55-61.
19. **Сидорчук А.В., Тригуба А.Н., Маланчук А.В. 2013.** Оценка ценностей сервисных программ аграрного производства // MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin; Rzeszow, Vol.15 (4), 153-159.



## ВЛИЯНИЕ ГРУПП ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА КОЭФФИЦИЕНТЫ ТРЕНИЯ СЕМЯН ПО ФРИКЦИОННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ СЕПАРАТОРОВ

*Степан Ковалишин, Юрий Ковальчик, Виктор Дадак*

*Львовский национальный аграрный университет*

*Ул. В. Великого 1, Дубляны, Украина. E-mail: kovalyshyn@mail.ru*

*Stepan Kovalyshyn, Yuriy Kovalchik, Viktor Dadak*

*Lviv National Agrarian University*

*St. Volodymyr the Great 1, Dubliany, Ukraine. E-mail: kovalyshyn@mail.ru*

**Аннотация.** Теоретически определен тип контакта в условиях трения семенных смесей при их разделении сепараторами. На основании известных соотношений обоснован выбор групп трибологических параметров, влияющих на коэффициенты трения скольжения семенных смесей по фрикционных поверхностях сепараторов. Выделены параметры шероховатости, характерные для исследования процессов трения на уровне фактических площадей контакта. Обосновано их влияние на коэффициенты трения как деформационной, так и молекулярной составляющих силы трения. Показано, что деформационная составляющая силы трения для семян будет преобладать над молекулярной составляющей. Исключено влияние групп параметров, описывающих т.н. «третье тело».

Проведенные исследования определяют последующие шаги дальнейших экспериментальных и теоретических исследований трения семенных смесей.

**Ключевые слова.** Семенные смеси, процесс сепарирования, коэффициент трения, фактическая площадь контакта, шероховатость, триботехнические параметры, упругий ненасыщенный контакт.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Очистка, разделение и сортировка семян сельскохозяйственных культур преимущественно происходят в процессе их послеуборочной обработки [1]. Для получения положительного эффекта и высококачественного семенного материала важная роль отводится взаимодействию его компонентов с рабочими органами семяоочистительных машин и влиянию на этот процесс коэффициентов трения различных составляющих семенных смесей [1, 2]. В данном случае коэффициенты трения, которые используют как своеобразный инструмент их очистки, выступают как основной параметр разделения семян по качеству их очистки от примесей, извлечения из них трудноотделимых примесей сорняков и разного рода травмированных семян культурных растений [11, 15].

В то же время сами коэффициенты трения также зависят от ряда трибологических параметров, которые описывают физико-механические свойства как семян, так и фрикционных поверхностей сепараторов [2, 3, 10]. Однако на данный момент исследо-

вателями недостаточно внимания уделяется теоретическим и практическим исследованиям по обоснованию и определению влияния групп триботехнических параметров на величину коэффициентов внешнего трения семян в условиях их сепарирования [22].

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Комплексные исследования физико-механических свойств семян включают в себя также определение их коэффициентов трения [1, 3, 5, 11]. Преимущественно представлены экспериментальные исследования, направленные на определение статических и динамических коэффициентов внешнего трения семян [2, 4, 6]. Авторы этих исследований ставят себе цель экспериментального нахождения коэффициентов трения скольжения компонентов семенных смесей сельскохозяйственных культур, в том числе и засорителей, по различных материалах фрикционных поверхностей [1, 2, 10]; расчет значений коэффициентов трения покоя через максимальный угол наклона фрикционной плоскости, при котором зерно начинает двигаться [2, 4, 5, 14]; выявление корреляционной связи между коэффициентами трения с различными биологическими характеристиками, например, уровнем произрастания семян, степенью травмированности семян, их шуплостью [8, 13, 18, 21]. При этом используются различные типы установок для определения углов наклона фрикционных поверхностей и коэффициентов внешнего трения, которые дают неодинаковые уровни точности измерений [2, 4, 10, 19, 20].

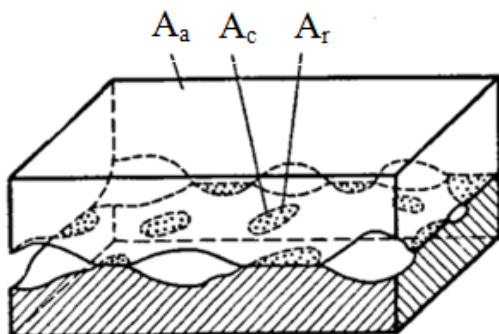
Приведенные данные свидетельствуют о необходимости теоретического и экспериментального определения групп триботехнических параметров, которые непосредственно влияют на коэффициенты трения семян по рабочим поверхностям сепараторов, поскольку такие исследования практически отсутствуют.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Целью данных исследований является усовершенствование рабочих органов сепараторов путем определения и учета при их проектировании триботехнических параметров, влияющих на коэффициенты трения и фрикционные свойства семян.

## ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Вследствие неровностей поверхностей контакта твердых тел, в том числе номинально плоских, их взаимодействие происходит на отдельных участках. Поэтому для изучения физико-механических закономерностей трения и износа используются понятия номинальной, контурной и фактической площадей контакта поверхностей рис. 1. [9].



**Рис.1.** Виды площадей контакта фрикционных тел:  $A_a$  – номинальная площадь контакта;  $A_c$  – контурные площади контакта;  $A_r$  – фактические площади контакта.

**Fig.1.** Types of contact area the friction bodies:

$A_a$  – nominal contact area;  $A_c$  – contour area of contact;  $A_r$  – actual contact area.

Вследствие макро- и микро- неровностей поверхностей контакт тел трения происходит на вершинах микронеровностей, что приводит к их деформации - упругой или упруго-пластической и образованию участков фактического контакта. Площади этих участков и составляют суммарную фактическую площадь контакта [9]. Поскольку участки фактического контакта преимущественно расположены дискретными группами, они образуют так называемые контурные площади контакта. Номинальная площадь контакта совпадает с площадью всей поверхности контакта номинально плоских тел трения. При этом часто удобно считать, что у одного из тел поверхность неровная и шероховатая, а у другого - идеально ровная, которую моделируют с помощью гладких полупространства или полуплоскости. В зависимости от параметров внешней нагрузки - давления на номинально плоской поверхности контакта  $P$  и скорости скольжения тел трения  $v$ , а также физико-механических характеристик контактирующих тел, будет происходить взаимодействие более твердых микровыступов при их скольжении по абсолютно гладкой поверхности относительно мягкого контртела. Размеры участков фактического контакта обычно очень небольшие - их диаметр составляет от нескольких до нескольких сотен микрон. Очевидно, важна также конфигурация микронеровностей и закономерности их расположения, а также тип деформации в зонах контакта. В случае такого типа трения, когда сближение поверхностей контакта является относительно небольшим, с определенным приближением считают, что фактические площади контакта совпадают с сечением микровыступов. При дальнейшем сближении происходит увеличение не

площади единичных пятен контакта, а увеличение их числа [9, 16]. Поэтому расчет площадей фактического контакта, коэффициентов трения, а главное, деформации в зоне контакта, зависит от того, насыщенный или ненасыщенный тип контакта отвечает данным условиям.

Ненасыщенным контактом считается такая разновидность контакта твердых тел, при котором число контактирующих микронеровностей  $n_r$  меньше числа микронеровностей  $n_c$ , расположенных на контурной площади касания. Напротив, при насыщенном контакте это неравенство не выполняется. Причем, пластический насыщенный контакт наблюдается лишь при больших давлениях. Упругий насыщенный контакт имеет место, если ближайший в пределах контурной площадки контакта микровыступ будет контактировать с контртелом [9, 18]. Поскольку при сепарации на фрикционных сепарирующих элементах слой зерна достаточно тонкий [12, 17], то, учитывая малую массу семян, давление очень незначительное. При таких условиях в пределах контурных площадок контакта взаимодействуют не все микровыступы. Более того, при увеличении давления происходило бы истирание и повреждения семян, что крайне нежелательно при сепарации [10, 11]. Поэтому при скольжении семян по рабочих поверхностях сепараторов имеет место упругий ненасыщенный контакт. Таким образом, для вычисления фактической площади контакта при трении скольжения в условиях ненасыщенного контакта вводится коэффициент  $\alpha$ , учитывающий напряженное состояние в зоне контакта и кинетические особенности взаимодействия твердых тел. Тогда фактическая площадь контакта будет равна:

$$A_r = \alpha A_c b \varepsilon^V, \quad (1)$$

где:  $A_c$  – контурные площади контакта;  $b, v$  – параметры опорной кривой профиля поверхности, определяемые расчетно-экспериментальным путем;  $\varepsilon$  – сближение поверхностей контакта:

$$\varepsilon = \frac{h}{R_{\max}}, \quad (2)$$

где:  $h$  – расстояние от сечения поверхности контакта, параллельно средней линии впадин и выступов, к вершине самого высокого микровыступа;  $R_{\max}$  – максимальная высота микронеровностей.

Характерным и распространенным типом деформации микронеровностей является вдавливание более жестких и меньших по размеру микронеровностей в мягкую менее жесткую поверхность контртела. В таком случае используют самую распространенную сферическую модель микровыступов, рис. 2., в предположениях которой фактическая площадь касания I микронеровности при ее внедрении на величину  $h_i$  отличается от ее площади сечения II, которая расположена на расстоянии  $h_i$  от вершины [9].

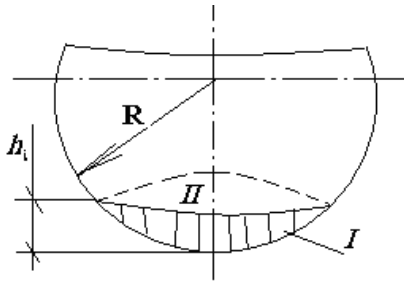


Рис. 2. Схема контакта микровыступов при вдавлении

Fig.2. The pin microprojections indentation

Но на самом деле, как свидетельствуют литературные данные [9], разница между этими площадями является незначительной и составляет 1-2%, особенно учитывая малую величину нагрузок при сепарации семян и условия ненасыщенного упругого контакта. Известно [9], что для сферической формы  $i$ -ой неровности площадь фактического соприкосновения вычисляют как:

$$A_{r_i} = \alpha_{\tau} 2\pi R h_i. \quad (3)$$

Следует отметить, что в условиях упругих деформаций в зонах фактического касания коэффициент  $\alpha_{\tau} = 0,5$  [7, 9]. Преимущественно считают, что параметр шероховатости  $R_{z_1}$  для поверхности одного из тел трения примерно в 2 раза больше, чем соответствующий параметр  $R_{z_2}$  для поверхности другого контактирующего тела. В нашем же случае можно считать, что фрикционная поверхность сепаратора является абсолютно ровной. В случае упругого ненасыщенного контакта в зависимости от контактного давления  $p_c$  можно считать, что:

$$A_r \sim p_c^{0,8} \text{ и } h \sim p_c^{0,4}, \quad (4)$$

где:  $P_c = \frac{N}{A_c}$ ,  $N$  – сила, действующая на контактирующие поверхности.

Вычислим контурное давление, используя комплексный параметр  $\Delta$ , характеризующий шероховатость поверхности:

$$\Delta = \frac{R_{\max}}{1 - Rb^{\nu}}, \quad (5)$$

где:  $R$  – высота сферической микронеровности.

Для сферической модели микровыступов считают, что происходит внедрение более жесткой микронеровности в поверхность менее жесткого тела. Также допускают контактирование двух твердых тел, одно из которых является абсолютно жестким и имеет шероховатую поверхность, а другое сравнительно более мягкое и моделируется абсолютно ровной поверхностью. Тогда, используя теорию Герца и данные [9], при расчетах принимают, что в машиностроении, а таким образом, и для поверхностей сепараторов, наиболее распространенные виды опорных поверхностей характеризуются значениями параметров  $\nu=2$  и  $b=2$ . В условиях упругого ненасыщенного контакта контурное давление находят по формуле:

$$p_c = \frac{1}{1 - \mu^2} \frac{0,4 E \Delta^2 \varepsilon^4}{5}, \quad (6)$$

где:  $E$  – модуль упругости менее жесткого материала;  $\mu$  – коэффициент Пуассона.

Следует учитывать, что при перемещении шероховатого зерна в условиях его сепарирования по относительно гладкой шлифованной поверхности именно поверхность зерна образует микровыступы, а металлическую поверхность сепаратора тогда следует считать абсолютно ровной. Однако открытым остается вопрос, какое из тел контакта следует моделировать, как более жесткое, и возможно ли в этом случае использование задачи Герца. Для нас принципиально важны используемые триботехнические параметры для фактических площадей контакта, а также наличие в последней формуле модуля упругости и коэффициента Пуассона.

Известно [9], что внешнее трение имеет двойственную природу. С одной стороны поверхности сближаются на расстояния, при которых возможны межмолекулярные или даже межатомные взаимодействия между телами трения. Это приводит к появлению молекулярной составляющей силы трения. С другой стороны, при трении скольжения жесткая микронеровность деформирует материал поверхностных слоев менее жесткого тела. Такое взаимодействие приводит к возникновению деформационной составляющей силы трения. Тогда силу трения, которая возникает на отдельной микронеровности, можно представить как:

$$F = F_M + F_g, \quad (7)$$

где:  $F_M, F_g$  – соответственно молекулярная и деформационная составляющие силы трения.

Обе силы являются функциями напряженного состояния в микроконтактах [9]. В случае скольжения зернового потока по поверхности сепаратора деформационная составляющая силы трения по абсолютной величине должна быть относительно небольшой вследствие небольших нагрузок, обусловленных малой массой семян. Кроме того, жесткость зерна с его неровной поверхностью значительно ниже, чем жесткость металлических фрикционных частей сепаратора. Молекулярная составляющая силы внешнего трения находится как:

$$F_M = \tau_n \cdot A_r, \quad (8)$$

где:  $\tau_n$  – касательные напряжения в зонах фактического контакта твердых тел.

При этом надо учитывать, что молекулярная составляющая силы трения предположительно может быть ничтожной вследствие недостаточного расстояния для межмолекулярных взаимодействий при относительно небольшом сближении поверхностей семян и сепаратора.

Механическую составляющую коэффициента трения  $f$  в условиях упругого ненасыщенного контакта можно рассчитать по формуле [9]:

$$f = \frac{2,4\tau_0(1-\mu^2)R^{\frac{1}{2}}}{\nu(\nu-1)k_1Eh^{\frac{1}{2}}} + \beta + \frac{0,4\alpha_{ef}h^{\frac{1}{2}}}{k_1\nu(\nu^2-1)R^{\frac{1}{2}}}, \quad (9)$$

где:  $k_1$  – постоянная интегрирования, которая зависит от параметров обработки поверхности,

$$\tau_0 = A(T_k)C_1 \exp \frac{B}{KT_k},$$

$$\beta = A(T_k)C_1 \frac{\gamma}{kT_k} \exp \frac{B}{KT_k}. \quad (10)$$

В свою очередь  $A(T_k)$  – некоторая функция температуры, а  $T_k$  – температура, для которой согласно Френеля [9], находится коэффициент динамической вязкости  $\eta$ :

$$\eta = A(T_k) \exp \frac{\omega}{KT_k}, \quad (11)$$

где:  $\omega$  – энергия активации вязкого течения жидкости;  $K$  – постоянная Больцмана;  $\beta, \gamma$  – коэффициенты, используемые при определении энергии вязкого течения;

$$\omega = \beta + \gamma p - \alpha(T_k - T_{k_1}), \quad (12)$$

где:  $p$  – давление в жидкости;  $\alpha$  – постоянная;  $T_k - T_{k_1}$  – изменение температуры.

Последние формулы касаются так называемого «третьего тела», которое рассматривают как следствие процессов течения в тонких слоях сорбционных пленок в зоне контакта тел трения. Понятно, что при росте температуры вязкость этих пленок падает, а при увеличении давления – растет. В случае скольжения зерна по фрикционных поверхностях сепаратора вследствие малой массы зерна изменение температуры поверхности стремится к нулю. Повышение температуры также нежелательно с точки зрения сохранности семян [7,10,11]. Что более принципиально, в таких условиях «третье тело» не должно образоваться. Поэтому, в последующих исследованиях группами параметров, соотносящихся к «третьему телу», следует пренебрегать.

Далее,

$$\alpha_{ef} = 2,5\alpha_z$$

где:  $\alpha_{ef}$  – коэффициент гистерезисных потерь;  $\alpha_z$  – коэффициент гистерезисных потерь при одноосном растяжения-сжатии.

Эти коэффициенты учитывают явление, которое характеризует потери энергии во время деформации при недостаточной упругости материала. Такие потери зависят от деформированных объемов, напряженного состояния в зоне контакта микронеровностей, которые моделируют в виде полусфер.

Таким образом, формула для нахождения механической составляющей коэффициента трения учитывает основные группы параметров: нагрузку ( $P, \nu$ ) через  $h$ ; физико-механическое состояние поверхностей трения ( $\tau_0, \beta$ ); обработку поверхности ( $R, R_{max}, \nu, b, k_1$ ); физико-механические параметры материалов ( $\alpha_{ef}, E, \mu$ ); параметры, характеризующие состояние «третьего тела» ( $\beta, \gamma, T_k - T_{k_1}$ ).

Учтем также влияние других параметров трибоспряжения на коэффициент внешнего трения. Для этого подставим функцию, которая прямо влияет на сближение поверхностей:

$$h = R \left[ \frac{5p_c(1-\mu^2)\Delta^V}{\nu(\nu-1)k_1E} \right]^{\frac{2}{2\nu+1}}, \quad (13)$$

в формулу для нахождения деформационной составляющей коэффициента трения. В результате этого получим:

$$f = \frac{2,4\tau_0}{Pc} \frac{1}{2\nu+1} \left[ \frac{1-\mu^2}{\nu(\nu+1)k_1\Delta^2} \frac{1}{5} \frac{1}{2\nu} \frac{1}{E} \right] + \beta +$$

$$+ \frac{0,4\alpha_{ef}}{\nu^2-1} \left[ \frac{5p_c\Delta^V(1-\mu^2)}{(k_1\nu)^{2\nu+2}(\nu-1)E} \right]. \quad (14)$$

Последняя формула используется также для расчета молекулярной составляющей силы трения при упругом ненасыщенном контакте. Для приближенных расчетов коэффициента внешнего трения в условиях упругого ненасыщенного контакта используют упрощенную формулу:

$$f = \frac{2,4\tau_0(1-\mu^2)^{0,8}}{P_c^{0,2}E^{0,8}\Delta^{0,4}} + \beta +$$

$$+ 0,24\alpha_{ef}\Delta^{0,4} \left[ \frac{p_c(1-\mu^2)}{E} \right]^{0,2}. \quad (15)$$

Из последней формулы также видно, что изменение модуля упругости может существенно влиять на молекулярную и деформационную составляющие коэффициента трения.

## ВЫВОДЫ

1. Установлено, что в условиях внешнего трения при скольжении семенных смесей при их разделении на фрикционной поверхности сепараторов, имеем ненасыщенный упругий тип контакта.

2. Для такого типа контакта приведены основные соотношения, характеризующие процессы трения на уровне фактических площадей контакта.

3. Показано, что деформационная составляющая силы трения для семян по поверхностям сепаратора будет преобладать над молекулярной составляющей.

4. Выделены основные группы параметров, по которым следует проводить дальнейшие экспериментальные и теоретические исследования трения семенных смесей.



1. **Zaika P.M. 2006.** Theory of agricultural machines. - Vol. 3, Chapter 7. Seed cleaning and separation. Kharkiv: Olo, 25-30.
2. **Kovalyshyn S.J. 2013.** Doslidzennya koeficientiv tertya nasinnya dribnonasinnykh silskohospodarskykh kultur / S. J. Kovalyshyn, V. O. Dadak // Visnyk Lvivskoho nacionalnoho ahrarnoho universytetu «Ahroinzenerni doslidzennya». № 17, 155-164.
3. **Dryncha V.M. 2010.** Osnovnyje konceptualnuje polozenia razrabotky tehnologii podhotovki semian / V. M. Dryncha, B. D. Cudendorziev, S. Pavlov. // Hranenie i pererabotka zerna. № 5 (131), 36-38.
4. **Bartneev I.M. 2013.** Sovershenstvovanie tehnologii i sredstv mehanizacii lesovostanovleniya / Drepaliuk M.V., Kizakov V.I. // M.: Flinta, 208.
5. **Yurova I.S.** Koefficienty trenia semian rastoropshi. / Shahov S.V., Zuravlov A.V., Kerimli R.V. // [www.rusnauka.com/42\\_NIO\\_2014/Agricole/4\\_18\\_4757.doc.htm](http://www.rusnauka.com/42_NIO_2014/Agricole/4_18_4757.doc.htm)
6. **Isaev Yu.M. 2010.** Dvizenie semian po vintovoi linii. / Voronina M.V., Nazarova N.N. // Selskochozyaistvennue nauki. № 94, 75.
7. Tehnologicheskie svoystva semian. [Mechanic-ua.ru / lektsii-po-mtgskhm / 178](http://Mechanic-ua.ru/lektsii-po-mtgskhm/178).
8. **Tarassenko A.P. 2009.** Zavisimost kachestva semyan pshenicy od frikcionnykh svoystv otdelnykh zernovok. / Myronenko D. // Vestnic Voronezhskoho hos. agro. un. Voronez. Vyp. 4(23), 20-23.
9. Spravochnic po tribotekhnike. Tom 1. Teoreticheskie osnovy. Pod. red. M. Hebdy, A.V. Chichinadze. M. - Warszawa: Mashynostroenie – VKL, 1989, 398.
10. **Kovalyshyn S.J. 2012.** Ocinka ta vyjavlennia novykh oznak podilnosti dribnonasinnykh symishei silskohospodarskykh kultur / S. J. Kovalyshyn, V. O. Dadak, V.V. Sokolyk // Motrol: Motorization and power industry in agriculture. – Lublin: Commission of motorization and power industry in agriculture. – Vol. 14D, 95-103.
11. **Kovalyshyn S.J. 2015.** Geometrical and friction properties of perennial grasses and their weeds in view of an electro-separation method / S. J. Kovalyshyn, V. O. Dadak, V.V. Sokolyk, S. Grundas, M. Stasiak, J. Tys // International Agrophysics. – № 29, 185 – 191.
12. **Harko I. 2003.** Ochystka ta sortuvannia nasinnia ripaku / I. Harko, V. Mazur, H. Dutko // Ahrotehnika. – №4, 1-6.
13. **Ovsyannikova L.K. 2009.** Porivnialnyj analiz dribnonasinnykh kultur na osnovi statystychnykh harakterystyk jih rozmiriv / L. K. Ovsyannikova, S. S. Orlova, O. G. Sokolovska // Zbirn. nauk. prac. – Odeska NAHT. – 36, Tom 1, 121-126.
14. **Balasubramanian S. 2012.** Physical properties of coriander seeds at different moisture content / S. Balasubramanian, K.K. Singh, R. Kumar // Int. Agrophysics 26, 419-422.
15. **Kovalyshyn S.J. 2001.** Choice of parameters of perennial grass seed processing on an electrovibration separator : Doctoral dissertation : Lviv. – 236.
16. **Kovalyshyn S.J. 2013.** Use of the electroseparation method for improvement of the utility value of winter rapeseeds. / S.J. Kovalyshyn, O.P. Shvets, S. Grundas, and J. Tys. // Int. Agrophysics –T. 27, 491-494.
17. **Kovalyshyn S.J. 2014.** Pidvyshchennya efektyvnosti separuvannya nasinnya kormovykh trav. // S. J. Kovalyshyn, V.O. Dadak // Visnyk Harkivskoho nacionalnoho tehnicnoho universytetu im. Petra Vasylenka: Tehnicni systemy i tehnologii tvarynnyctva. – Vol. 144, 225-232.
18. **Zare D. 2013.** Physical properties of cumin and caraway seeds. / Zare D., Bakhshipour A., and Chen G. // International Agrophysics - 27(4), 231-244.
19. **Molenda M. 1995.** Friction of wheat grain. / M. Molenda, J. Horabik, J. Grochowicz // Acta Agrophysica, 4, 85
20. **Molenda M. 2000.** Friction of wheat on curred and smooth galvanized steel surfaces. / M. Molenda, S. A. Tompson, I. J. Ross // Journal of Agricultural Engineering Research. – № 77(2), 209-219.
21. Some physical properties of ginkgo nuts and kernels [P.E. Ch'ng, M.H.R.O. Abdullah, E.J. Mathai, and N.A. Yunus] // International Agrophysics. – 2013. – 27(4), 485-489.
22. **Kovalyshyn S.J. 2014.** Puti usovershenstvovania posleuborochnoi podhotovki semian melkosemennykh kultur / S. J. Kovalyshyn, V. O. Dadak, V.V. Sokolyk // Motrol: Motorization and power industry in agriculture. – Lublin: Commission of motorization and power industry in agriculture. – Vol. 16D, 38-44.

INFLUENCE GROUP TRIBOLOGICAL  
PARAMETERS ON THE FRICTION COEFFICIENT  
OF THE FRICTION SURFACES SEEDS  
SEPARATORS

**Summary.** Theoretical type of contact is defined in terms of seed mixtures friction during the separation of the separators. Based on known relations justified the choice groups of tribological parameters affecting the coefficients friction of seed mixtures of friction surface of the separator. Obtained roughness parameters specific to the study of friction at the level of the actual contact area. Substantiated their influence on the friction coefficient as the strain and the molecular components of the friction force. It is shown that the deformation component of friction force for seeds will prevail over the molecular component. Excluded impact groups of parameters describing the so-called "Third body". We also determined the next steps for further experimental and theoretical studies of seed mixtures friction.

**Key words:** seed mixture, separation, coefficient of friction, the actual contact area roughness of the tribological parameters unsaturated elastic contact.



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ КОНСТАНТ И ТОЛЩИН СЛОЕВ СЛАБОПОГЛОЩАЮЩЕЙ ДВУХСЛОЙНОЙ СТРУКТУРЫ

*Олег Кушнир*

*Львовский национальный аграрный университет  
Ул. В. Великого, 1, Дубляны, Украина. E-mail: o-p-ku@yandex.ua*

*Oleg Kushnir*

*Lviv National Agrarian University  
St. Vladimir the Great, 1, Dubliany, Ukraine. E-mail: o-p-ku@yandex.ua*

**Аннотация.** Разработан метод определения оптических констант и толщин слоев слабопоглощающей двухслойной структуры с помощью выражений для огибающих минимумов и максимумов спектра отражения. Предложенный метод базируется на анализе двух экспериментальных спектров отражения. Один из них - это спектр отражения двухслойной структуры с исследуемым верхним слоем, оптические константы и толщину которого нужно определить. Второй – это спектр отражения однослойной структуры без исследуемого верхнего слоя. Преимуществом этого метода является возможность выбора структуры с произвольным соотношением между показателями преломления обеих слоев. Предложенный метод может быть использован при определении оптических констант и толщины тонкого слабопоглощающего слоя, нанесенного на толстый прозрачный слой. Использование толстого дополнительного слоя дает возможность получить достаточное количество экстремумов в спектре отражения для построения огибающих и определения неизвестных параметров.

**Ключевые слова:** двухслойная структура, огибающие спектров отражения, многолучевая интерференция, показатель преломления, оптические константы.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Интерференционные покрытия имеют широкое применение в оптическом приборостроении [1, 2], например, для изготовления интерференционных фильтров или используются в качестве просветляющих покрытий. Последние также могут использоваться в системах солнечной энергетики [3] для уменьшения отраженной энергии солнечного света. Проектирование таких покрытий предполагает возможность точного определения показателей преломления и поглощения слоев. Поэтому разработка методов определения оптических констант и толщин слоев остается актуальной проблемой.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

На данный момент разработано большое количество различных методов определения оптических констант плоскопараллельных структур [4-6], использующих закономерности многолучевой интер-

ференции. Одним из наиболее точных методов, который применяется в тех случаях, когда толщина плоскопараллельного слоя является меньше или по крайней мере сопоставима с длиной волны, является метод эллисометрии [7-11]. Среди эффективных и одновременно технически простых методов определения оптических констант и толщины слоя плоскопараллельной однослойной структуры широко применяются методы с использованием функций огибающих спектров отражения или пропускания [12-17]. Эти методы сводятся к установлению корреляции между значениями энергетических коэффициентов в их экстремумах и параметрами самих структур и могут быть реализованы с использованием как спектральных так и угловых зависимостей энергетических коэффициентов. В работе [17] была предпринята попытка использования функций огибающих экстремумов спектров однослойных структур для определения неизвестных оптических констант двухслойных структур. Однако из-за отсутствия аналитических выражений для огибающих экстремумов спектров двухслойных структур эта попытка была реализована лишь в частном случае близости показателей преломления обеих слоев между собой [17]. Понятно, что обеспечить такую близость показателей преломления на практике является не всегда просто, так как показатель преломления верхнего слоя может быть неизвестен.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Установленные аналитические выражения для огибающих спектров отражения поглощающей двухслойной структуры [18] дают возможность предложить метод определения неизвестных оптических констант двухслойных структур с произвольными значениями показателей преломления слоев.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Предложенный метод так же, как и метод описанный в работе [17], базируется на анализе двух экспериментальных спектров отражения. Один из них  $R1_e(\lambda)$  – это спектр отражения двухслойной структуры с исследуемым верхним слоем, оптические константы и толщину которого нужно определить. Второй  $R2_e(\lambda)$  – это спектр отражения одно-

слоистой структуры 0–2–3 без исследуемого верхнего слоя. В первом спектре нижний слой, который выполняет роль вспомогательного, должен иметь достаточную толщину для того, чтобы в этом спектре проявилась интерференционная картина. При этом количество экстремумов в спектре должно быть достаточным для построения интерполяционных кривых [17] и вычисления значений огибающих максимумов или минимумов. Для нижнего (вспомогательного) слоя лучше использовать прозрачный в исследуемой спектральной области материал для того, чтобы упростить определение его толщины  $d_2$  и дисперсионной зависимости показателя преломления  $n_2(\lambda)$  с помощью второго спектра отражения однослойной структуры. Для этого спектра также нужно построить кривые огибающих методом интерполяции, с помощью которых удобно определять искомые параметры, используя один из многих известных методов, например [15, 16, 19], разработанных для однослойных структуры. В случае, когда во втором спектре отражения однослойной структуры количество экстремумов недостаточно для построения огибающих методом интерполяции, толщину  $d_2$  и показатель преломления  $n_2(\lambda)$  прозрачного слоя можно определить с помощью другого метода [2]. Согласно этому методу в области прозрачности однослойной структуры справедливы следующие соотношения:

$$4\pi n_2 d_2 / \lambda_m = m\pi, \quad (1)$$

$$n_2 = n_2^\infty + \frac{g}{\lambda^2} \quad (2)$$

где:  $m$  – целые положительные числа.

Уравнение (1), (2) включают в себя три неизвестных параметра:  $n_2^\infty d_2$ ,  $g d_2$  и  $m$ . Поэтому, для того, чтобы определить  $m$  на длине волны  $\lambda_m$ , нужно иметь значение длины волны еще для двух соседних экстремумов:  $\lambda_{m-1}$  и  $\lambda_{m+1}$ . Тогда значение целого положительного числа  $m$  определяется с помощью приближенного выражения [2]:

$$m \approx \frac{\lambda_{m-1}^3 \lambda_{m+1}^2 + \lambda_{m-1}^2 \lambda_{m+1}^3 - \lambda_{m-1}^3 \lambda_m^2 - \lambda_{m+1}^3 \lambda_m^2}{(\lambda_{m+1} - \lambda_m) (\lambda_{m-1}^3 \lambda_{m+1} - \lambda_{m-1}^2 \lambda_{m+1}^2 + \lambda_{m-1}^3 \lambda_m - \lambda_{m-1}^2 \lambda_{m+1} \lambda_m - \lambda_{m-1}^2 \lambda_m^2 + \lambda_{m+1}^2 \lambda_m^2)}. \quad (3)$$

Следующим шагом является определение толщины  $d_2$  слоя численным методом из условия минимума функции:

$$\sum_m (R_2(m, \lambda_m, n_2(\lambda_m, d_2), \tilde{n}_3(\lambda_m), d_2) - R_{2e}(\lambda_m))^2, \quad (4)$$

где:  $R_2(m, \lambda_m, n_2(\lambda_m), \tilde{n}_3(\lambda_m), d_2)$  – энергетический коэффициент определяется с помощью известных выражений [20] для однослойной структуры 0–2–3; показатель преломления:

$$n_2(\lambda_m, d_2) = \frac{m \lambda_m}{4 d_2}. \quad (5)$$

В соответствии с (1); а для оптических констант подложки  $\tilde{n}_3(\lambda_m)$  можно использовать табличные значения [21] или определять их с помощью третьего экспериментального спектра отражения

для чистой подложки. Тогда с помощью (5) определяется дисперсионная зависимость показателя преломления прозрачного нижнего слоя  $n_2(\lambda_m)$ .

После определения дисперсионных зависимостей  $n_2(\lambda)$ ,  $\tilde{n}_3(\lambda)$  и толщины нижнего слоя  $d_2$ , функции огибающих [18] для первого спектра будут включать в себя только зависимости от неизвестных показателей преломления  $n_1(\lambda)$ , поглощения  $\kappa_1(\lambda)$ , толщины  $d_1$  верхнего слоя, а также номера слоя  $s$  с наибольшей фазовой толщиной:

$$R_s^{\min, \max} = \left( \frac{\sigma_{0,s} \mp \sigma_{s,3} \chi_{0,s} \Omega_s}{1 \mp \sigma_{s,0} \sigma_{s,3} \Omega_s} \right)^2 = F_s^{\min, \max} (n_1(\lambda), \kappa_1(\lambda), \lambda, d_1, s). \quad (6)$$

Здесь  $\chi_{0,s} = |\tilde{t}_{0,s} \tilde{t}_{s,0} - \tilde{r}_{0,s} \tilde{r}_{s,0}|$ , комплексные амплитудные коэффициенты отражения  $\tilde{r}_{j,u} = \sigma_{j,u} e^{i\phi_{j,u}}$  и пропускания  $\tilde{t}_{j,u} = \tau_{j,u} e^{i\theta_{j,u}}$  определяются с помощью известных выражений [20];  $\Omega_j = e^{2\text{Im}\delta_j}$ ,  $\delta_j = \frac{2\pi d_j \tilde{n}_j}{\lambda}$ ,  $\tilde{n}_j = n_j - i\kappa_j$ . Решив численным методом систему двух уравнений (6) только для длин волн  $\lambda_\nu$  ( $\nu = 1, 2, \dots$ ), которые соответствуют экстремумам первого спектра, можно получить две группы зависимостей показателей преломления и поглощения верхнего слоя от неизвестной толщины  $d_1$  для этих длин волн  $\lambda_\nu$ :

для случая, когда большей является фазовая толщина верхнего слоя ( $s = 1$ ):

$$\begin{cases} n_1'(d_1, \lambda_\nu) \\ \kappa_1'(d_1, \lambda_\nu) \end{cases}; \quad (7)$$

для случая, когда большей является фазовая толщина нижнего слоя ( $s = 2$ ):

$$\begin{cases} n_1''(d_1, \lambda_\nu) \\ \kappa_1''(d_1, \lambda_\nu) \end{cases}. \quad (8)$$

Для определения толщины верхнего слоя необходимо определить значение  $d_1'$ , которое обеспечивает минимум функции:

$$\Delta'(d_1) = \sum_\nu (R(\lambda_\nu, n_1'(d_1, \lambda_\nu), \kappa_1'(d_1, \lambda_\nu), n_2(\lambda_\nu), \tilde{n}_3(\lambda_\nu), d_1, d_2) - R_{1e}(\lambda_\nu))^2, \quad (9)$$

а также значение  $d_1''$ , которое обеспечивает минимум функции:

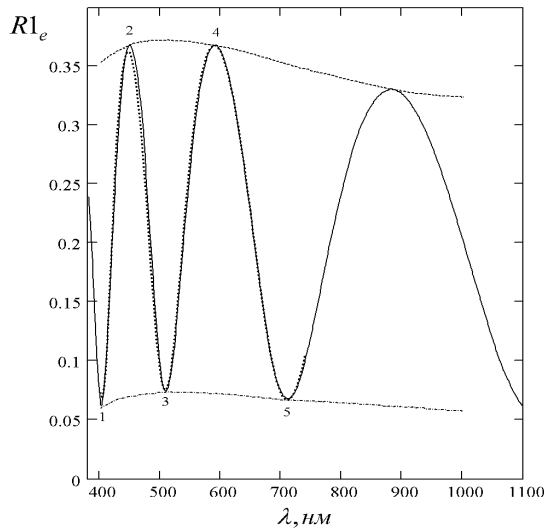
$$\Delta''(d_1) = \sum_\nu (R(\lambda_\nu, n_1''(d_1, \lambda_\nu), \kappa_1''(d_1, \lambda_\nu), n_2(\lambda_\nu), \tilde{n}_3(\lambda_\nu), d_1, d_2) - R_{1e}(\lambda_\nu))^2, \quad (10)$$

где:  $R(\lambda_\nu, n_1''(d_1, \lambda_\nu), \kappa_1''(d_1, \lambda_\nu), n_2(\lambda_\nu), \tilde{n}_3(\lambda_\nu), d_1) = \tilde{r}_{0,3}^* \tilde{r}_{0,3}$ .

Для случая, когда  $\Delta'(d_1') < \Delta''(d_1'')$ , искомой толщиной  $d_1$  будет значение  $d_1'$ , а дисперсионными зависимостями для показателей преломления и поглощения верхнего слоя будут:  $n_1(\lambda_\nu) = n_1'(d_1', \lambda_\nu)$  и  $\kappa_1(\lambda_\nu) = \kappa_1'(d_1', \lambda_\nu)$ . Для случая, когда  $\Delta'(d_1') > \Delta''(d_1'')$ , искомой толщиной  $d_1$  будет значе-

ние  $d_1''$ , а дисперсионными зависимостями будут:  
 $n_1(\lambda_v) = n_1''(d_1'', \lambda_v)$  и  $\kappa_1(\lambda_v) = \kappa_1''(d_1'', \lambda_v)$ .

В качестве примера использования предложенного метода были выбраны экспериментальные спектры отражения [17]. Первый из них – это спектр отражения двухслойной структуры 0–1–2–3 (рис. 1 сплошная кривая), где: среде 0 соответствует воздух ( $n_0 = 1$ ); 1 – исследуемый слой, для которого необходимо определить оптические константы и толщину; 2 – слой SiO<sub>2</sub> (прозрачный в исследуемой спектральной области) и 3 – кремниевая подложка, для которой были использованы известные [21] показатели преломления и поглощения.



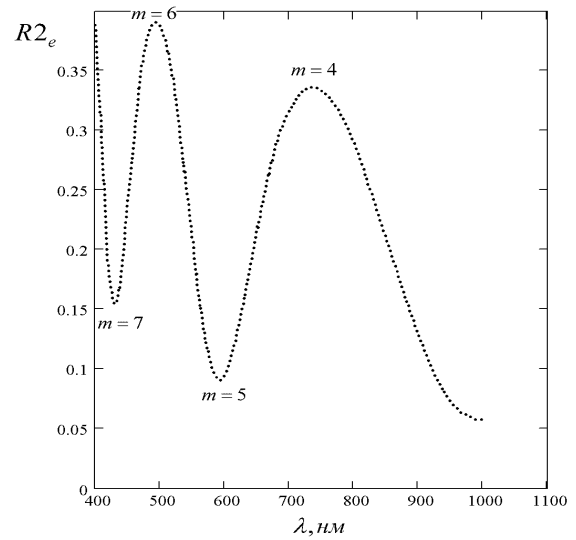
**Рис. 1.** Экспериментальный спектр отражения  $R1_e(\lambda)$  исследуемой двухслойной структуры 0–1–2–3 при нормальном падении света (сплошная кривая); спектр отражения, рассчитанный с помощью найденных толщин и оптических констант обеих слоев (пунктирная кривая); огибающие максимумов (штриховая кривая) и минимумов (штрихпунктирная кривая) экспериментального спектра

**Fig. 1.** The experimental reflection spectrum  $R1_e(\lambda)$  of the investigated two-layer structure 0–1–2–3 at normal incidence (solid line); the reflection spectrum, calculated on the basis of the found thicknesses and optical constants of the two layers (dotted line); envelopes peaks (the dashed curve) and lows (dashed line) of the experimental spectrum

Второй – это спектр отражения однослойной структуры 0–2–3 (рис. 2), которая отличается от структуры 0–1–2–3 лишь отсутствием слоя 1.

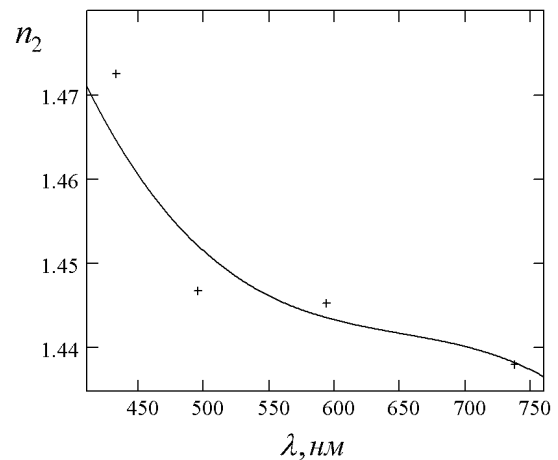
Для второго спектра экстремумы достигаются при таких длинах волн: максимумы – при 494 нм и 738 нм; минимумы – при 432 нм и 593 нм. С помощью уравнения (3) для каждого экстремума были определены целые значения  $m$  (рис. 2). Толщина слоя SiO<sub>2</sub>  $d_2 = 513$  нм была определена из условия минимума функции (4). С помощью уравнения (5) были определены показатели преломления слоя

SiO<sub>2</sub> (рис. 3) для длин волн, при которых достигаются экстремумы спектра  $R2_e(\lambda)$ .



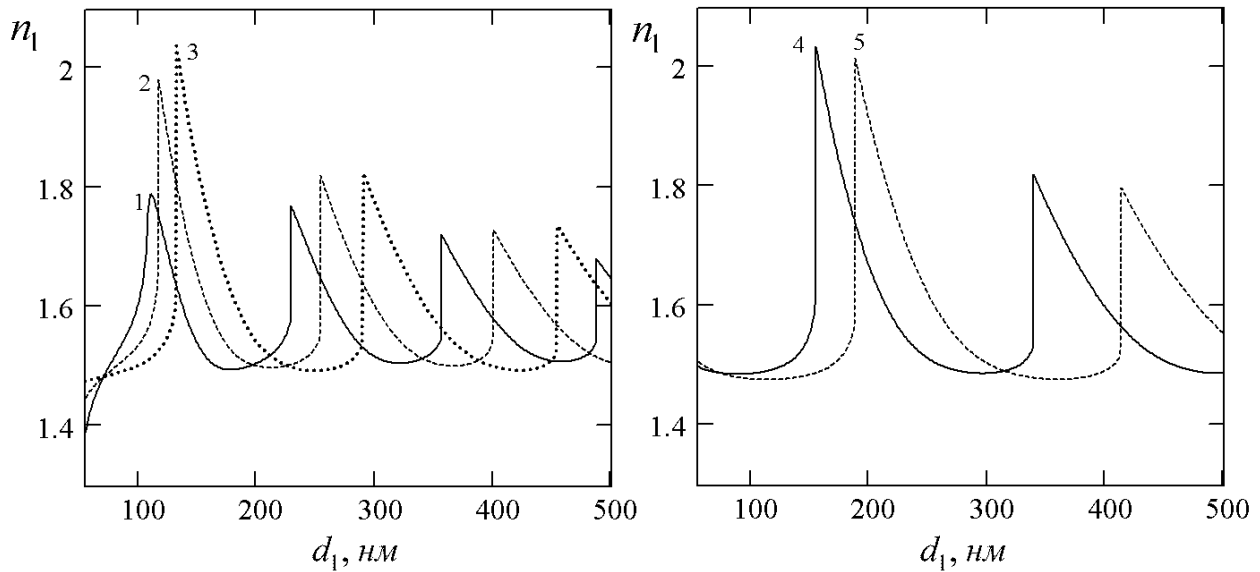
**Рис. 2.** Экспериментальный спектр отражения  $R2_e(\lambda)$  однослойной структуры 0–2–3 при нормальном падении света

**Fig. 2.** The experimental reflection spectrum  $R2_e(\lambda)$  of the layer structure 0–2–3 at normal incidence



**Рис. 3.** Дисперсионная зависимость показателя преломления  $n_2$  слоя 2 (SiO<sub>2</sub>): знаком «+» обозначены рассчитанные значения для длин волн, соответствующих экстремумам спектра отражения структуры 0–2–3; значение сплошной кривой определялись методом наименьших квадратов

**Fig. 3.** The dispersion dependence of the refractive index  $n_2$  of the layer 2 (SiO<sub>2</sub>): sign "+" indicated by the calculated values for wavelengths correspond to the reflection spectrum extrema of the structure 0–2–3; values corresponding to the solid curve wear determined by the least squares method

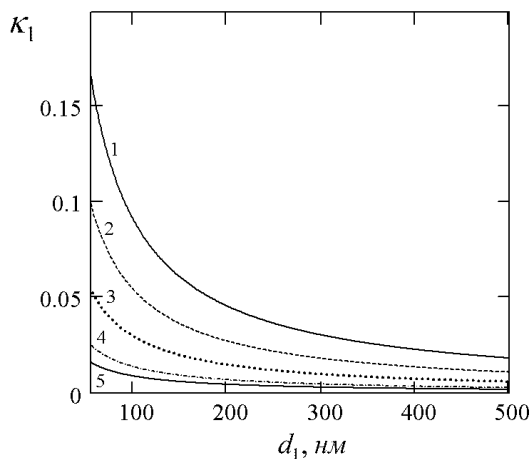


**Рис. 4.** Рассчитанная зависимость показателя преломления  $n_1$  верхнего слоя 1 от его толщины для длин волн, соответствующих пронумерованным на рис.1 экстремумам

**Fig. 4.** The calculated dependence of the refractive index of the upper layer versus its thickness for the wavelength corresponding to the numbered in Fig. 1 extrema

В работе [17] было указано, что исследуемый верхний слой 1 значительно тоньше слоя 2 ( $\text{SiO}_2$ ), поэтому при определении  $d_1$ ,  $n_1(\lambda_v)$  и  $\kappa_1(\lambda_v)$  рассматривался только случай  $s = 2$ .

С помощью выражений для огибающих (6) и их числовых значений были найдены зависимости (8) для показателей преломления (рис. 4) и поглощения (рис. 5) слоя 1 от его толщины.



**Рис. 5.** Рассчитанная зависимость показателя поглощения  $\kappa_1$  верхнего слоя от его толщины для длин волн, соответствующих пронумерованным на рис.1 экстремумам

**Fig. 5.** The calculated dependence of the absorption index  $\kappa_1$  of the upper layer versus its thickness for the wavelength corresponding to the numbered in Fig. 1 extrema

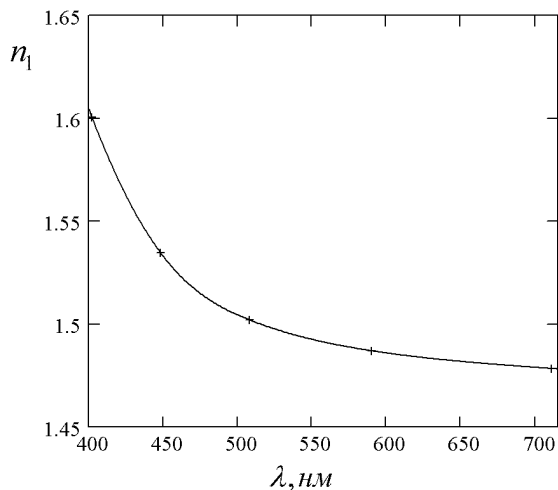
Толщину исследуемого верхнего слоя  $d_1 = 99 \text{ нм}$  было определено из условия минимума

функции (10). Используя решение (8) были найдены дисперсионные зависимости для показателей преломления (рис. 6) и поглощения (рис. 7). На рис. 1 вместе с экспериментальным спектром отражения исследуемой двухслойной структуры (сплошная кривая) показан спектр отражения, рассчитанный с помощью найденных толщин и оптических констант обоих слоев (пунктирная кривая). В табл. 1 представлены оптические константы и толщина исследуемого слоя, рассчитанные этим методом, а также рассчитанные в работе [17] методом, который пригоден только для структур с близкими между собой показателями преломления слоев. Сравнивая рассчитанные значения этих параметров ( $n_1$ ,  $\kappa_1$ ,  $d_1$ ) с их действительными значениями ( $n'_1$ ,  $\kappa'_1$ ,  $d'_1$ ) [17] (табл. 1) можно оценить погрешность для них, как:  $\Delta n_1 = |n_1 - n'_1|$ ,  $\Delta \kappa_1 = |\kappa_1 - \kappa'_1|$ ,  $\Delta d_1 = |d_1 - d'_1|$ .

**Табл. 1.** Рассчитанные оптические константы ( $n_1, \kappa_1$ ) и толщина  $d_1$  верхнего слоя двухслойной структуры; ( $n_1', \kappa_1'$ ) и  $d_1'$  – действительные значения этих величин [17]; ( $n_1'', \kappa_1''$ ) и  $d_1''$  – значения этих величин, рассчитанные другим методом [17].

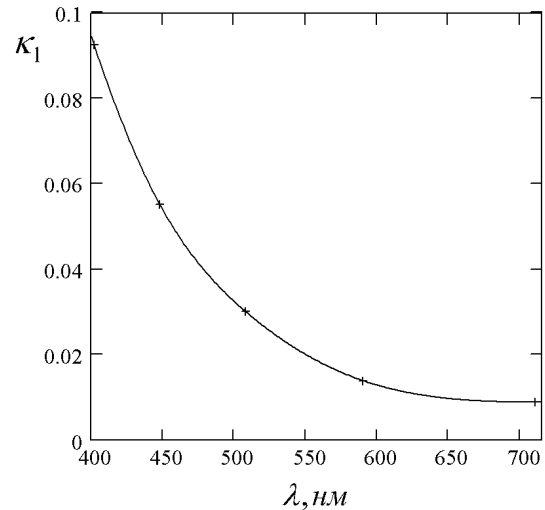
**Table 1.** The calculated optical constants ( $n_1, \kappa_1$ ) and the thickness  $d_1$  of the upper layer of two-layer structure; ( $n_1', \kappa_1'$ ) and  $d_1'$  – the real values of these variables [17]; ( $n_1'', \kappa_1''$ ) and  $d_1''$  – the values of these variables calculated by another method [17].

$\lambda$ , нм	$n_1$	$\kappa_1$	$n_1'$	$\kappa_1'$	$n_1''$	$\kappa_1''$	$d_1$ , нм	$d_1'$ , нм	$d_1''$ , нм
402.1	1.601	0.092					99	100	
448.0	1.535	0.055	1.566	0.056	1.557	0.059			98.9
510.5	1.501	0.030	1.521	0.023	1.510	0.030			99.1
591.5	1.488	0.013	1.492	0.008	1.492	0.010			97.3
712.5	1.480	0.008	1.481	0.005	1.484	0.003			100.2



**Рис. 6.** Дисперсионная зависимость показателя преломления  $n_1$  верхнего слоя 1: знаком «+» обозначены рассчитанные значения для длин волн, соответствующих экстремумам спектра отражения структуры 0–1–2–3; значение сплошной кривой определялись методом наименьших квадратов

**Fig. 6.** The dispersion dependence of the refractive index  $n_1$  of the top layer 1: sign "+" indicate the calculated values for wavelengths corresponding to the spectrum reflection extrema of the structure 0–1–2–3; value of the solid curve were determined by the least squares method



**Рис. 7.** Дисперсионная зависимость показателя поглощения  $\kappa_1$  верхнего слоя 1: знаком «+» обозначены рассчитанные значения для длин волн, соответствующих экстремумам спектра отражения структуры 0–1–2–3; значение сплошной кривой определялись методом наименьших квадратов

**Fig. 7.** The dispersion dependence of the absorption index  $\kappa_1$  of the top layer 1: sign "+" indicate the calculated values for wavelengths corresponding to the spectrum reflection extrema of the structure 0–1–2–3; value of the solid curve were determined by the least squares method

## ВЫВОДЫ

Разработан неразрушающий метод определения оптических констант и толщины слабопоглощающего слоя с помощью функций огибающих экстремумов спектра отражения двухслойной структуры. Преимуществом этого метода по сравнению с другим известным методом [17] является возмож-

ность выбора структуры с произвольным соотношением между показателями преломления обеих слоев.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Thelen A. 1989.** Design of optical interference coatings / A. Thelen. – New York: McGraw–Hill. – 232.
2. **Macleod H.A. 2001.** Thin-Film Optical Filters / H. A. Macleod. – 3rd ed. – London: IOP. – 631.
3. **Солдатенко В. 2014.** Имитационная модель гибридной электроэнергетической системы с возобновляемыми источниками энергии / В. Солдатенко, М. Кубкин, Л. Вихрова // MOTROL. Commission of Motorization and energetics in agriculture. Vol.16. No.4. 233-240.
4. **Ohlidal I. 1985.** A new method for the complete optical analysis of weakly absorbing thin films: application to polycrystalline silicon films / I. Ohlidal, K. Navratil, J. Muslimov // Thin Solid Films. – V. 127. – 191-203.
5. **Babeva T. 2001.** Photometric methods for determining the optical constants and the thicknesses of thin absorbing films / T. Babeva, S. Kitova, I. Konstantinov // Appl. Opt. – V. 40. – 2682-2686.
6. **Lunacek J. 2009.** Simple method for determination of the thickness of a nonabsorbing thin film using spectral reflectance measurement / J. Lunacek, P. Hlubina, M. Lunackova // Appl. Opt. – V. 48. – 985-989.
7. **Martinez-Anton J.C. 2002.** Spectroscopic ellipsometry of non-absorbing films independent of film thickness / J. C. Martinez-Anton, J. A. Gomez-Pedrero // Appl. Surf. Sci. – V. 193. – 268-276.
8. **Xie H. 2006.** Characterisation of Sol-gel Thin Films by Spectroscopic Ellipsometry / H. Xie, J. Wei, X. Zhang // J. Phys.: Conf. Ser. – V. 28. – 95-99.
9. **Ghezze M. 1968.** Thickness calculations for a transparent film from ellipsometric measurements / M. Ghezze // J. Opt.Soc.Amer. – V. 58. – No. 3. – 368-372.
10. **Azzam R.M.A. 1975.** Ellipsometric Function of a Film-Substrate System: Applications to the Design of Reflection-Type Optical Devices and to Ellipsometry / R. M. A. Azzam, A. R. M. Zaghoul, N. M. Bashara // J. Opt. Soc. – V. 65. – 252-260.
11. **Azzam R.M.A. – 1975.** Combined Reflection and Transmission Thin-Film Ellipsometry: A Unified Linear Analysis / R. M. A. Azzam, M. Elshazly-Zaghoul, N. M. Bashara // Appl. Opt. – V. 14. – 1652-1663.
12. **Кособуцкий П.С. 2006.** Определение параметров однослойных структур по методу анализа огибающих спектров Фабри-Перо / П. С. Кособуцкий // Оптический журнал. – Т. 73, № 12. – 73-76.
13. **Swanepoel R. 1984.** Determination of surface roughness and optical constants of inhomogeneous amorphous silicon films / R. Swanepoel // J. Phys. E: Sci Instrum. – V. 17. – 896-903.
14. **Siapkas D. 1991.** Optical constants of tin-telluride determined from infrared interference spectra / D. Siapkas, D. B. Kushev, N. N. Zheleva et al. // Infrared Phys. – V. 31, No. 5. – 425-433.
15. **Kushev D.B. 1995.** Transmittivity, reflectivities and absorptivities of a semiconductor film with a linear variation in thickness / D. B. Kushev, N. N. Zheleva // J. Phys. D: Appl. Phys. – V. 8. – 1239-1243.
16. **Kushev D.B. 1991.** An envelope method for determination of thin optical constants of absorptive films on absorptive substrate / D. B. Kushev, N. N. Zheleva, M. I. Gyulmezov, M. H. Koparanova // Infrared Phys. – V. 34, No. 2. – 163-167.
17. **Филиппов В.В. 2006.** Метод огибающих для исследования системы двух пленок на отражающей подложке / В. В. Филиппов // Оптика и спектроскопия. – Т. 101. – 485-489.
18. **Kushnir O.P. 2009.** Application of spectral envelope functions of multilayer structures for analytical determination of antireflection conditions / O. P. Kushnir // Ukrainian Journal of Physical Optics. – V. 10, № 2. – 82-88.
19. **Кособуцкий П.С. 2009.** Определение оптических параметров прозрачной двухслойной структуры / П. С. Кособуцкий, П. И. Кушнир, Я. М. Бильий, О. П. Кушнир // Вестник ЛДАУ, Агроинженерные исследования, №13, 401-406.
20. **Гребенщиков И.В. 1946.** Просветление оптики / И. В. Гребенщиков, А. Г. Власов, Б. С. Непорент, Н. В. Суйковская. – Ленинград: ОГИЗ. – 215.
21. **Гавриленко В.И. 1987.** Оптические свойства полупроводников (Справочник) / В. И. Гавриленко, А. М. Грехов, Д. В. Корбутяк и др. – К: Наукова думка. – 608.

#### DETERMINATION OF THE OPTICAL CONSTANTS AND LAYER'S THICKNESSES OF WEAKLY ABSORBING DOUBLE-LAYER STRUCTURE

**Summary.** Using expressions for minimums and maximums envelope of the reflection spectra of weakly absorbing two-layer structure, the method of layer's optical constants and thicknesses definition have been developed. The proposed method is based on the analysis of two experimental reflection spectra. One of them is the reflection spectrum of double-layer structure with an explored upper layer for which the optical constants and thickness need to be determined. Second is the reflection spectrum of one-layer structure without an explored upper layer. Advantage of this method is possibility of a select of structure with any ratio between refractive indices of both layers. The proposed method can be used for definition of optical constants and thickness of an thin weakly absorbing layer coated on a thick transparent layer. Uses of a thick additional layer gives the possibility to obtain sufficient number of the extrema in the reflection spectrum for plotting envelopes and definitions of unknown parameters.

**Key words:** two-layer structure, reflection spectra envelopes, multi-beam interference, refractive index, optical constants.



## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ИНФРАКРАСНОЙ СУШКИ ДВИЖУЩЕГОСЯ ШАРА СЫРЬЯ МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР

*Валентина Бандура, Олег Цуркан, Владислав Паламарчук  
Винницкий национальный аграрный университет  
Ул. Солнечная, 3, Винница, Украина. E-mail: tsurkan\_ov@i.ua*

*Valentina Bandura, Oleg Tsurkan, Vladislav Palamarchuk  
Vinnytsia National Agrarian University  
St. Solnechnaya, 3, Vinnytsia, Ukraine. E-mail: tsurkan\_ov@i.ua*

**Аннотация.** В статье обосновано применение инфракрасного (ИК) излучения для сушки движущихся на ленточном конвейере семян масличных культур как одного из эффективных методов обработки. Показано его все большее применение в разных отраслях народного хозяйства вследствие ряда преимуществ перед известными способами тепловой обработки.

На разработанном и изготовленном образце экспериментальной конвейерной установки для ИК сушки исследован механизм и кинетика процесса сушки целых семян рапса и сои с помощью ИК-излучения, которые движутся на ленточном конвейере.

По результатам экспериментальных исследований установлено рациональное количество ИК-излучателей и их мощность, расстояние до обрабатываемого сырья, а также скорость движения конвейера и его удельная загрузка.

**Ключевые слова:** кинетика, сушка, ИК излучение, рапс, соя.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

На современном этапе развития процессов и оборудования для сушки зерна сельскохозяйственных культур остаются актуальными вопросы разработки и создания высокоэффективной сушильной техники. Так при сушке тонны зерна, в среднем, необходимо удалить 70-80 кг влаги, что при урожае в 35-40 млн. тонн требует 0,4-0,7 млн. тонн условного топлива, а затраты времени на сушку достигают до 70% всего времени на послепосевную обработку урожая [7].

Одним из направлений интенсификации процесса сушки есть использование разных методов, в том числе физических – ИК нагрева с одновременным перемещением обрабатываемого шара сырья. Но без учета высокой интенсивности инфракрасного излучения невозможно получить техническую систему, обеспечивающую более равномерную и достаточно продуктивную тепломассообменную обработку, в частности, семян масличных культур.

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Метод ИК излучения является одним из перспективных физических методов обработки сельскохозяйственного сырья и пищевых продуктов [4]. Благодаря преимуществам перед традиционными способами тепловой обработки его все больше используют в различных отраслях пищевой промышленности и ресторанном хозяйстве [9, 10, 16]. ИК-обработка используется для бланширования, обжарки и сушки плодоовощного сырья, пастеризации молока, соков, вин и пива, тепловой обработки мясопродуктов, приготовления гриль-продукции из разных видов пищевого сырья [2, 8, 14]. Использование ИК излучения, как эффективного метода термоподготовки материала масличных культур перед извлечением масла, во-первых, обеспечивает инактивацию антипитательных веществ - трипсинного ингибитора и фермента уреазы, по активности которой определяют уровень токсичности; во-вторых, создает кратковременное интенсивное тепловое воздействие, что дает возможность получить высококачественные макух и масло; в-третьих, дает возможность перерабатывать масличные семена в зоне их выращивания, в фермерских хозяйствах и других агропредприятиях, в линиях для производства растительного масла малой мощности. По этому, отпадает необходимость строительства дорогой котельной, которая обеспечивает производство технологическим паром.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Определить основные параметры кинетики процесса сушки целых семян рапса и сои с использованием конвейерной установки для ИК сушки с целью определения ее рабочих параметров, а также эффективную интенсивность инфракрасных излучателей для исследуемой технической системы.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

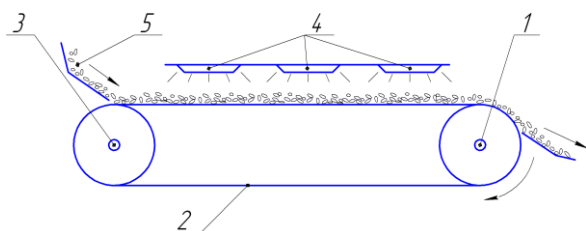
Для установки с ИК излучением для сушки семян масличных культур ее аппаратно-конструктивные особенности на уровне функционально-конструктивных элементов и узлов определены следующими условиями: во-первых, они должны обеспечить, с учетом начальных технологи-

ческих особенностей объекта переработки, необходимый уровень активности антипитательных веществ и влажности; во-вторых, конструктивными решениями в организации ИК излучения, которые обеспечивают необходимую энергетическую и технологическую эффективность процесса; в-третьих, способом механического воздействия, которое обеспечивает транспортирование и перемешивание материала.

В процессе обработки продукт подается на ленту транспортера, над которой находятся генераторы ИК излучения. Суть процесса обработки пищевого сырья в поле ИК излучения в условиях открытого рабочего пространства заключается в том, что электромагнитные волны от источника излучения проникают в продукт на глубину до 2 мм и частично или полностью поглощаются в нем. При этом электромагнитная энергия преобразуется в тепловую, которая нагревает продукт. Кроме этого, нагрев продукта происходит конвективно, то есть при нагревании горячим воздухом рабочего пространства до температуры 175...250°C.

Процесс обработки в ИК оборудовании осуществляем в два этапа: первый этап – обработка продукта при максимальной температуре источника ИК излучения до появления на поверхности изделия корочки; второй этап – приведение продукта к полной готовности при уменьшенной постоянной температуре генераторов. Уменьшение температуры на втором этапе производится с помощью уменьшения электрической мощности или увеличением расстояния продукта к источнику ИК излучения. Конструктивные решения по компоновке блока ИК-ламп и самих генераторов обеспечивают достижение равномерного облучения в соответствии с требованиями переработки соответствующего масляного материала [6, 15], в том числе и по наличию антипитательных веществ [5].

Для изучения влияния технологических, энергетических и конструктивных параметров при ИК излучении на эффективность удаления влаги из продукта была создана экспериментальная установка, которая представлена на рис. 1 [1, 3, 11].



**Рис. 1.** Схема экспериментальной конвейерной установки для ИК сушки: 1 – приводной каток; 2 – лента; 3 – натяжной каток; 4 – инфракрасные излучатели; 5 – продукция

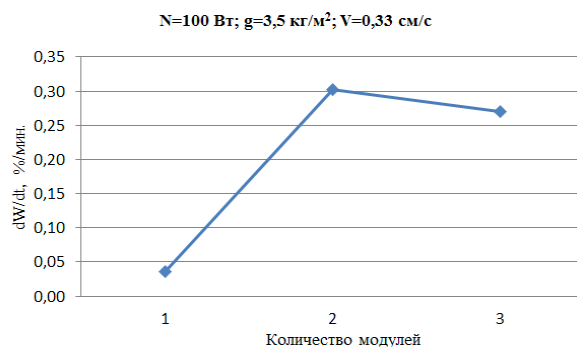
**Fig. 1.** Chart of experimental conveyer fluidizer IR dryings: 1 – is a drive skating rink; 2 – is a ribbon; 3 – is a natyazhnoy skating rink; 4 – are infra-red emitters; 5 – are products

Она работает следующим образом: на ленту подается определенное количество целого зерна рапса или сои, получая при этом значения удельной загрузки равными соответственно 1,5; 3,5; 5 кг/м<sup>2</sup>. После этого приводят в движение ленту со скоро-

стью 0,13; 0,33, 0,54 см/с. Во время движения ленты под инфракрасными излучателями продукция испытывает влияние излучения определенной мощности 100, 200, 300 Вт. При этом по ходу ленты включали один, два или три излучателя.

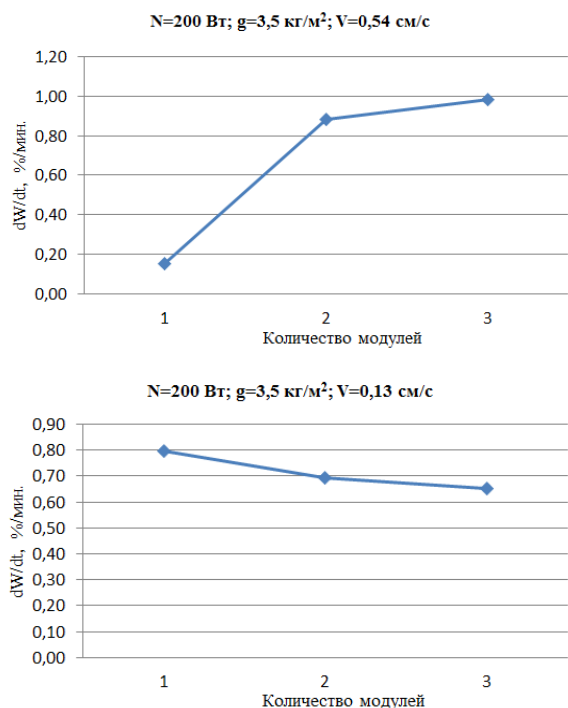
По результатам исследований было установлено [12, 13], что использовать мощность излучателей 200 Вт при удельной загрузке больше 3,5 кг/м<sup>2</sup> нецелесообразно, так как большой шар продукции не дает возможности инфракрасным лучам обрабатывать все зерна, особенно при достаточно больших скоростях движения ленты. Ограничение мощности установлено таким, потому что при увеличении мощности свыше 200 Вт через высокую температуру может происходить повреждение продукции, а использование нескольких излучателей даст больший эффект от сушки чем один, но с большей мощностью. Извлечение влаги с помощью нескольких излучателей эффективнее с той точки зрения, что характер протекания процесса определяется механизмом перенесения влаги в материале и механизмом перенесения влаги с поверхности материала в окружающую среду через поверхностный шар, который находится возле самой поверхности материала. По этому сушка в несколько этапов позволяет предотвратить создание на поверхности материала корочки, которая будет способствовать замедлению процесса переноса влаги. А короткие перерывы между этапами сушки позволяют влаге распределиться из середины материала к его поверхности.

Как показали результаты экспериментальных исследований, при увеличении количества модулей излучателей и скорости транспортировки сырья большей чем 0,33 см/с скорость сушки возрастает; для скорости 0,13 см/с – меняется незначительно (рис. 2-6). Резкое увеличение данных показателей прослеживается при использовании двух излучателей. Снижение скорости сушки имеет место не только для скоростей транспортирующей ленты порядка 0,1-0,13 см/с, но и при падении мощностей излучателей ниже 100 Вт (рис. 2) при снижении производительности процесса либо удельной нагрузки сырья меньше чем 1,5 кг/м<sup>2</sup> (рис. 5).



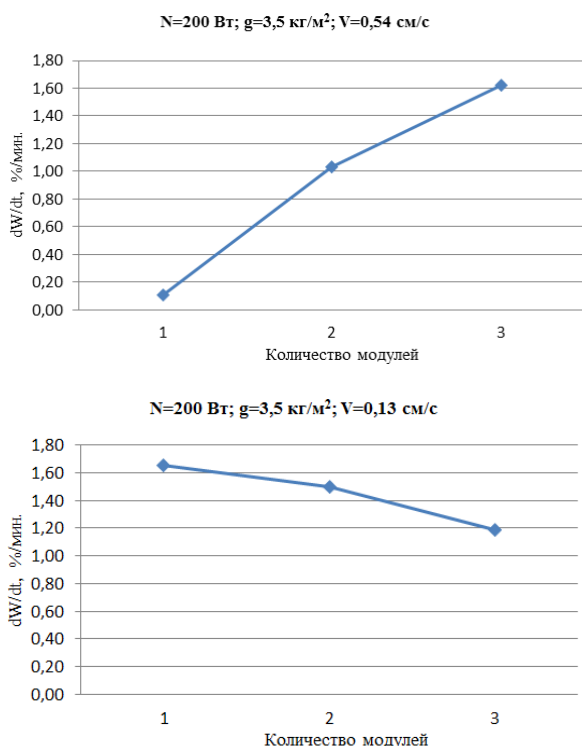
**Рис. 2.** Зависимость снижения влажности для зерна сои при изменении количества излучателей

**Fig. 2.** Dependence of decline of humidity for grain of soy at the change of amount of emitters



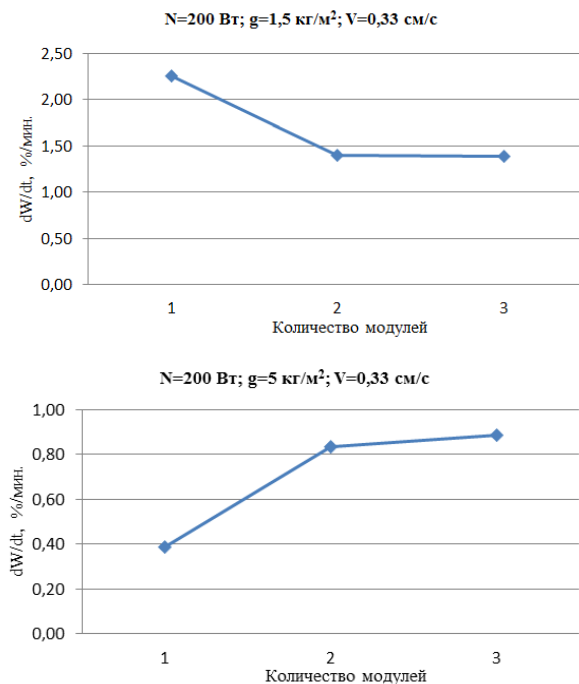
**Рис. 3.** Зависимости снижения влажности для зерна сои при изменении количества излучателей и скорости транспортировки

**Fig. 3.** Dependences of decline of humidity for grain of soy at the change of amount of emitters and speed of transporting



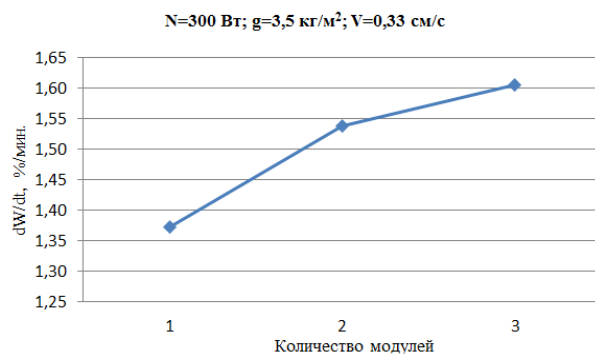
**Рис. 4.** Зависимости снижения влаги для зерна рапса при изменении количества излучателей и скорости транспортировки

**Fig. 4.** Dependences of decline of moisture for grain of rape at the change of amount of emitters and speed of transporting



**Рис. 5.** Зависимости снижения влаги для зерна рапса при изменении количества излучателей и удельной загрузки

**Fig. 5.** Dependences of decline of moisture for grain of rape at the change of amount of emitters and specific load



**Рис. 6.** Зависимость снижения влаги для зерна рапса при изменении количества излучателей

**Fig. 6.** Dependence of decline of moisture for grain of rape at the change of amount of emitters

Еще одним важным результатом, полученным при проведении экспериментов, есть значительно большее извлечение влаги (на 30-40%) из семян рапса по сравнению с семенами сои. Это объясняется меньшими размерами каждого семени рапса, а также его увеличенной поглощающей способностью за счет темного цвета.

## ВЫВОДЫ

1. Исследование кинетических параметров инфракрасной сушки семян масличных культур показали эффективность обработки в условиях подвижного слоя сырья, в частности для его скорости 0,33 см/с.

2. Показано, что эффективным вариантом, для исследуемой технической системы, есть использование 3-х излучателей мощностью по

200 Вт при удельной загрузке не больше 3,5 кг/м<sup>2</sup> и скорости ленты до 0,33 см/с, что можно использовать при проектировании установок с ИК излучением для сушки семян масличных культур, а именно рапса и сои.

3. Установлено, что больший влагосъем достигается у семян меньших размеров и с темной окраской поверхности.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Бандура В.Н., В.И. Паламарчук. 2012.** Экспериментальные исследования кинетики сушки рапса и сои в неподвижном шаре в инфракрасном поле. Научные труды Одесской национальной академии пищевых технологий. Вып. 41, том 2, 110-113. (Украина).
2. **Беляев М., Пахомов П. 1991.** Теоретические основы комбинированных способов тепловой обработки пищевых продуктов: моногр. Х.: ХИОП, 160.
3. **Паламарчук И.П., Бандура В.Н., Паламарчук В.И. 2014.** Вибрационная конвейерная сушилка с инфракрасными излучателями: патент Украины №87767, заявл. 28.02.2013; опубл. 25.02.2014, Бюл. № 4, 4. (Украина).
4. **Гинзбург А.С. 1966.** Инфракрасная техника в пищевой промышленности. – М.: Пищевая пром-сть, 398.
5. **Деревенко В.В. 2004.** Основные технологические закономерности термоподготовки масличного материала к извлечению масла // XXIV Российская школа по проблемам науки и технологий, посвященная 80-летию со дня рождения академика В.П. Макеева: сб. тр. – Миасс, 144-146.
6. **Зверев С.В., Тюрев Е.П., Сю Чжи Цзюнь. 1997.** Оптимизация параметров блока излучателей при инфракрасном нагреве сои // Международная научно-техническая конференция „Прогрессивные технологии и оборудование для пищевой промышленности”. Тезисы докладов. – Воронеж, 180-181.
7. **Снежкин Ю.Ф., Пазюк В.М., Петрова Ж.О., Чалаев Д.М. 2012.** Теплонасосная зерносушилка для семенного зерна. - К.: ТОВ „Полиграф-Сервис”, 154. (Украина).
8. **Красников В.В., Гинзбург А.С., Сыродов В.И., Федутин Г.Н. 1985.** Инфракрасное излучение в пищевой технологии / // Материалы пятой Всесоюзной научно-технической конференции «Электрофизические методы обработки пищевых продуктов» М.: МТИММП, 12-16.
9. **Лебедев П.Д. 1955.** Сушка инфракрасными лучами. – М.: Госэнергоиздат, 265.
10. **Левитин И.В. 1981.** Применение инфракрасной техники в народном хозяйстве. – Л.: Энергоиздат, 264.
11. **Паламарчук И.П., Цуркан О.В., Паламарчук В.И. 2015.** Обоснование конструктивно-технологической схемы инфракрасной виброволновой конвейерной сушилки для послеуборочной обработки сыпучей сельскохозяйственной продукции // Сборник научных трудов Винницкого национального аграрного университета. Серия: Технические науки. - Вып. № 1(89). Том 1, 117-123. (Украина).
12. **Паламарчук И.П., Бандура, В.И. Паламарчук В.М. 2013.** Анализ динамики виброконвейерной технологической системы с кинематическим комбинированным вибровозбуждением. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Vol. 15. No.4. 314-323.
13. **Паламарчук И.П., Драчишин В.И., Паламарчук В.И. 2014.** Обоснование структурных составляющих виброконвейерной машины для поверхностной упрочняющей обработки рабочих органов сельскохозяйственных машин. MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. Vol. 16. No.4. 132-141.
14. **Рогов Н.А. 1988.** Электрофизические методы обработки пищевых продуктов. – М.: Агропромиздат, 272.
15. **Сафаров А.Ф. 1991.** Влаготепловая обработка масличных культур // Дис. доктора техн. наук. Ташкент, 288.
16. **Топольник В.Г., Коренец Ю.М. 2007.** Оценка качества ИК-оборудования с открытой рабочей зоной для заведений ресторанного хозяйства. Оборудование и технологии пищевых производств. Вып. 16, 87-93. (Украина).

#### EXPERIMENTAL STUDY OF PROCESS PARAMETERS INFRARED DRYING MOVING BALL OF RAW OILSEEDS

**Summary.** In the article application (IR) of infrared is reasonable for drying of locomotive on a band conveyer seed of oil-bearing cultures as one of effective methods of treatment. His all greater application is shown in different industries of national economy because of row of advantages before the known methods of thermal treatment.

On the worked out and made standard of the experimental conveyer setting for IR drying a mechanism and kinetics of process of drying of whole seed of rape and soy are investigational by means of infrared Emission, that move on a band conveyer.

On results experimental researches the rational amount of IR heating and their power, distance to the processed raw material, and also rate of movement of conveyer and his specific loading, is set.

**Key words:** kinetics, drying, IR heating, rapeseed, soybean.

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Надежда Рацька, Кристина Василюв, Степан Ковалишин.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОДИФФУЗИОННОГО ОКСИДИРОВАНИЯ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СПЛАВА СИСТЕМЫ НИОБИЙ-ТИТАН.....	3
<i>Georgij Cherevko.</i> MARKET TRANSFORMATION OF SYSTEM OF KEEPING AGRIBUSINESS SUPPLIED WITH MATERIAL AND TECHNICAL RESOURCES IN UKRAINE.....	7
<i>Леонид Червинский, Сергей Усенко, Александр Науменко.</i> УНИЧТОЖЕНИЕ АМБАРНЫХ ДОЛГОНОСИКОВ В СИЛЬНОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ.....	15
<i>Виталий Лысенко, Игорь Болбот, Игорь Чернов.</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИНАМИКИ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОГО РОБОТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА ФИТОМОНИТОРИНГА В ТЕПЛИЦЕ.....	19
<i>Виктор Шевчук.</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗДАВЛИВАНИЯ СЕМЯН МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР.....	25
<i>Михаил Бабич, Сергей Коробка.</i> МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ СУШКИ ФРУКТОВ В ГЕЛИОСУШИЛКЕ.....	31
<i>Сергей Сиротюк, Валерий Сиротюк, Владимир Гальчак.</i> FUZZY-LOGIC КОНТРОЛЛЕР УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТЫ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ.....	39
<i>Людмила Гнатышин, Оксана Прокопышин.</i> ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ФОРМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВ.....	47
<i>Андрей Яцун.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ И ОПЕРАТОРНЫХ ИНДУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОХОДНОГО ВНУТРЕННЕГО КОЛЬЦЕВОГО ВИХРЕТОКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ В ПРОВОДЯЩЕЙ ТРУБЕ.....	55
<i>Степан Химка, Маркиян Гошко.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА НА ПРИМЕРЕ КОМПАКТНЫХ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЛАМП...	61
<i>Иван Дробот.</i> СТРУКТУРНО-МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВЕНТИЛЯЦИИ ПТИЧНИКА.....	67
<i>Роман Кузьминский, Олег Соколовский, Роман Шеремета.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННОЙ СВЯЗИ МЕЖДУ ОТДЕЛЬНЫМИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ЗЕРЕН РАЗЛИЧНЫХ КУЛЬТУР.....	71
<i>Роман Кузьминский, Олег Соколовский, Виталий Василькевич, Роман Шере-мета.</i> СРАВНЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ СЕМЯН И ЖМЫХА ЛЬНА ПО ПОВЕРХНОСТЯХ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛЛОВ.....	75
<i>Анатолий Тригуба.</i> ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ КОРМООБЕСПЕЧЕНИЯ МОЛОЧНЫХ ФЕРМ.....	81
<i>Василий Тымочко, Роман Падюка.</i> МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ КАЛЕНДАРНОГО ГРАФИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ.....	89
<i>Oleksandr Sydorhuk, Pavlo Lub, Ivan Horodetskyu.</i> PECULIARITIES OF PROJECTS MANAGEMENT BY ADAPTIVE TECHNOLOGICAL SYSTEMS OF TILLAGE AND SOWING.....	97
<i>Роман Шевчук, Роман Крупич.</i> РУЧНОЙ ВИБРОУДАРНЫЙ СТЯХИВАТЕЛЬ ПЛОДОВ.....	101
<i>Иван Гевко, Олег Ляшук, Андрей Дячун, Андрей Довбиш.</i> ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА КОНВЕЙЕРОВ С РАСШИРЕННЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ВОЗ-МОЖНОСТЯМИ.....	107
<i>Oleksiy Shevchuk.</i> DEVELOPMENT AND RESEARCH OF INFORMATION MODEL OF INK COMBINATION PROCESS IN MULTI-INK ROTARY WEB PRESSES.....	117

<i>Катерина Сиротюк.</i> АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ БИОМАССЫ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ.....	123
<i>Роман Кузьминский, Игорь Стукалец, Андрей Татомыр.</i> ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГОДОВОЙ ПРОГРАММЫ РЕМОНТА НА РЕЗУЛЬТАТЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА.....	131
<i>Игорь Паламарчук, Виталий Янович, Игорь Купчук.</i> АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВИБРОРОТОРНОЙ ДРОБИЛКИ ЗЕРНОВОГО СЫРЬЯ СПИРТОВОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	139
<i>Анатолий Поляков.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОРОДО-КИСЛОРОДНОЙ СМЕСИ ДЛЯ ГАЗОВОЙ СВАРКИ.....	145
<i>Геннадий Голуб, Савелий Кухарец, Алексей Осыпчук, Валентина Кухарец.</i> АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ БИОДИЗЕЛЬНОГО ГОРЮЧЕГО И ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РЕАКТОРА-РАЗДЕЛИТЕЛЯ.....	149
<i>Николай Козут.</i> УДАРНО-УСТАЛОСТНАЯ И СТАТИЧЕСКАЯ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТЬ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПОЛОСЫ ПЛАСТИЧНОСТИ У ВЕРШИНЫ ИСХОДНОЙ ТРЕЩИНЫ.....	157
<i>Василь Липчук, Инна Жаловага.</i> ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ОСНАЩЕННОСТИ ФЕРМЕРСКИХ ХОЗЯЙСТВ.....	165
<i>Василь Рыс.</i> СЪЕМНИК ДЛЯ ДЕМОНТАЖА ДЕТАЛЕЙ УСТАНОВЛЕННЫХ С НАТЯГОМ НА ВАЛ..	169
<i>Włodzimierz Baranowski, Paweł Palutkiewicz, Monika Margol.</i> WYTWARZANIE ZBIORNIKÓW I POJEMNIKÓW WIELKOGABARYTOWYCH Z TWORZYW POLIMEROWYCH.....	175
<i>Piotr Kuźniar, Waclaw Jarecki, Stanisław Sosnowski, Józef Gorzelany, Dorota Bobrecka-Jamro.</i> WPŁYW NAWOŻENIA AZOTEM NA WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE NASION SOI.....	181
<i>Геннадий Голуб, Максим Павленко, Оксана Ачкевич.</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА КОМБИКОРМОВ И ДИЗЕЛЬНОГО БИОТОПЛИВА.....	187
<i>Marián Vujna, Maroš Korenko, Vladimír Kročko, Taras Shchur.</i> SAFETY AUDIT IN PRODUCTION PROCESS.....	193
<i>Степан Ковалишин, Юрий Ковальчик, Виктор Дадак.</i> ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ВЛИЯНИЯ ГРУПП ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА КОЭФФИЦИЕНТЫ ТРЕНИЯ СЕМЯН ПО ФРИКЦИОННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ СЕПАРАТОРОВ.....	199
<i>Олег Кушнир.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ КОНСТАНТ И ТОЛЩИН СЛОЕВ СЛАБОПОГЛОЩАЮЩЕЙ ДВУХСЛОЙНОЙ СТРУКТУРЫ.....	205
<i>Валентина Бандура, Олег Цуркан, Владислав Паламарчук.</i> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ИНФРАКРАСНОЙ СУШКИ ДВИЖУЩЕГОСЯ ШАРА СЫРЬЯ МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР.....	211

## List of the Reviewers

- |    |               |     |               |
|----|---------------|-----|---------------|
| 1. | M. Kohut      | 8.  | I. Zin        |
| 2. | G. Cherevko   | 9.  | S. Kovalyshyn |
| 3. | R. Kuzminskyi | 10. | I. Horodetsky |
| 4. | V. Lypchuk    | 11. | A. Tryhuba    |
| 5. | B. Gevko      | 12. | L. Sikora     |
| 6. | V. Tkachuk    | 13. | O. Kalahan    |
| 7. | B. Pobereyko  | 14. | I. Dobriansky |

Editors of the “MOTROL” magazine of the Commission of Motorization and Power Industry 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.

We are pleased to announce that the magazine “MOTROL – Motorization and Energetics in Agriculture” (ISSN 1730-8658) has undergone a positive evaluation of the IC Journals Master List 2013, the result of which is granting the ICV Index (Index Copernicus Value) 6.56 pts. The resulting score was calculated on the basis of a survey submitted by the Editorial Team as well as assessments made by the professionals from Index Copernicus. We invite you to familiarize yourself with the methodology of IC Journals Master List evaluation:

<http://journals.indexcopernicus.com/masterlist.php?q=motrol>

Impact factor of the “MOTROL” journal according of the Commission of Motorization and Energetics in Agriculture is 1,85 (April 2015).

## GUIDELINES FOR AUTHORS (2015)

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. (Table1).

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), (% m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup>) or (% gg<sup>-1</sup>), Thermal conductivity (W m<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>).

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. 1).

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 (JABE), Vol. IV. Nr 1, 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. (1). 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.