

# Сельскохозяйственные МАШИНЫ и ТЕХНОЛОГИИ

## AGRICULTURAL MACHINERY AND TECHNOLOGIES

Том 13 N3 2019

Vol. 13 N3 2019

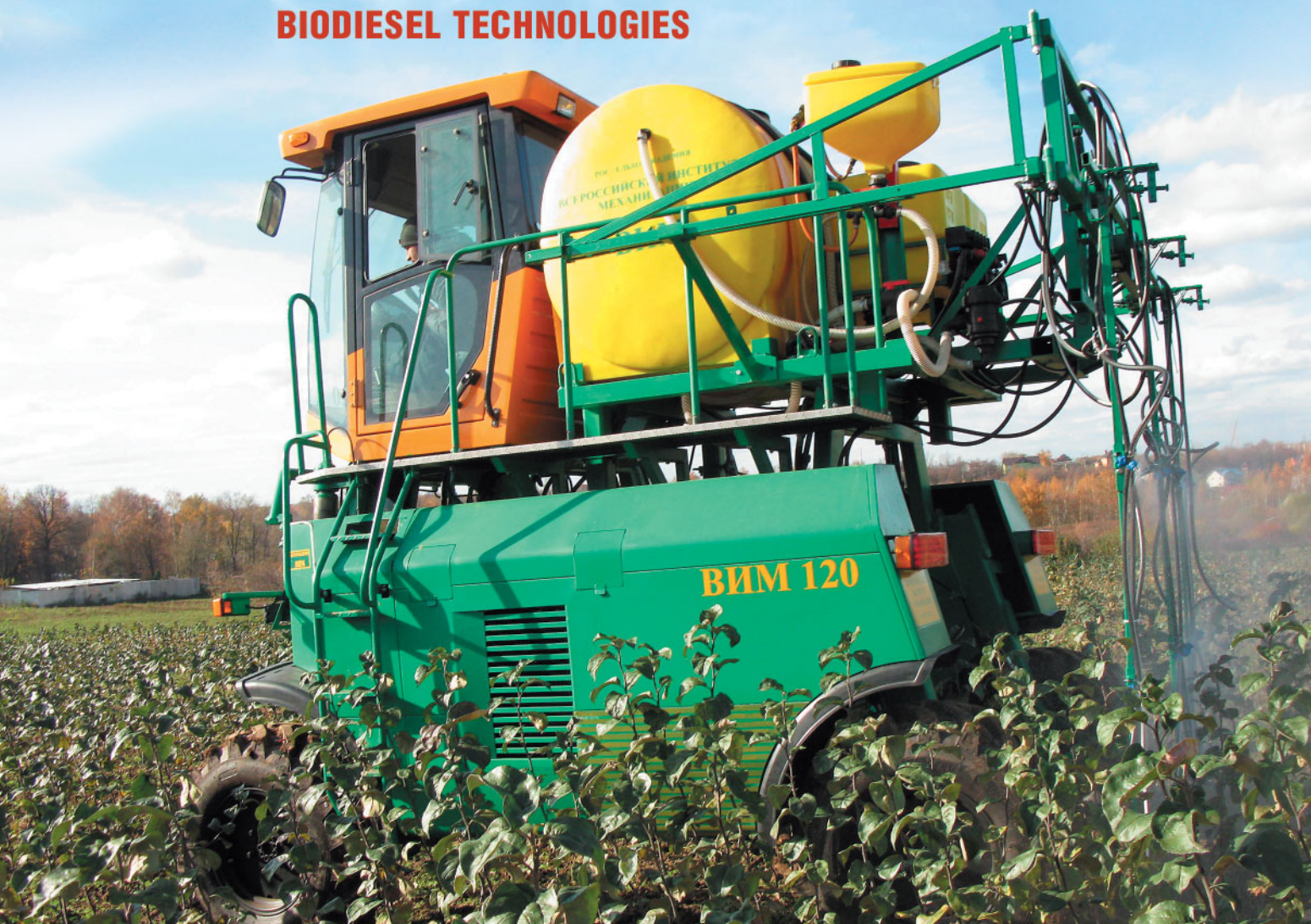
НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

SCIENTIFIC-THEORETICAL JOURNAL

**РАЗВИТИЕ МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА В КИТАЕ**  
**DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL MECHANIZATION IN CHINA**

**МАШИНЫ ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ**  
**MACHINES FOR INTRODUCING MINERAL FERTILIZERS**

**ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА**  
**BIODIESEL TECHNOLOGIES**







# Сельскохозяйственные МАШИНЫ и ТЕХНОЛОГИИ

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ АГРОИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР ВИМ»

## НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Журнал зарегистрирован  
Федеральной службой по надзору  
в сфере связи, информационных  
технологий и массовых коммуникаций  
(РОСКОМНАДЗОР)  
Свидетельство ПИ № ФС77-68608  
от 3 февраля 2017 г.

**Журнал включен в перечень изданий,  
рекомендованных ВАК РФ для публика-  
ции трудов соискателей ученых степе-  
ней кандидата и доктора наук**

Журнал включен  
в Российский индекс  
научного цитирования (РИНЦ)

Полные тексты статей  
размещены на сайте электронной  
научной библиотеки: <http://elibrary.ru>

Охраняется законом РФ № 5351-1  
«Об авторском праве и смежных правах»  
от 9 июля 1993 года. Контент распростра-  
няется под лицензией Creative Commons  
Attribution 4.0 License. Нарушение закона  
будет преследоваться в судебном порядке.

## НАД НОМЕРОМ РАБОТАЛИ:

В.В. Бижаев,  
Л.А. Горелова,  
С.В. Гришуткина,  
Р.М. Нурбагандова

Перевод – Алексей Алипичев

## АДРЕС РЕДАКЦИИ:

109428, Москва,  
1-й Институтский проезд, 5  
Телефоны: (499) 174-88-11  
(499) 174-89-01

<http://www.vimsmit.com>  
e-mail: [smit@vim.ru](mailto:smit@vim.ru)

© ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2019

Отпечатано в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ  
Формат 205 x 290 мм  
Подписано в печать 28.06.2019  
Тираж 500 экз.

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Андрей Юрьевич Измайлов**

доктор технических наук, академик Российской академии наук, член Президиума Российской академии наук, директор Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, Москва, Российская Федерация

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Виктор Валентинович Альт**

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, заслуженный деятель науки Российской Федерации, академик НАН Монголии, руководитель научного направления Сибирского физи-ко-технического института аграрных проблем, г. Новосибирск, Российская Федерация

**Христо Иванов Белоев**

доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Болгарской академии наук, Русенский универси-тет, г. Русе, Республика Болгария

**Михаил Никитиевич Ерохин**

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева, Москва, Рос-сийская Федерация

**Юрий Анатольевич Иванов**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик Российской академии наук, директор Всероссий-ского научно-исследовательского института механизации животноводства, г. Подольск, Российская Феде-рация

**Йошисукэ Кишида**

академик, Президент компании «Шин-Норинша», г. Токио, Япония

**Иван Михайлович Куликов**

доктор экономических наук, профессор, академик Российской академии наук, директор Всероссийского се-лекционно-технологического института садоводства и питомниководства, Москва, Российская Федерация

**Юрий Федорович Лачуга**

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, академик-секретарь Отделения сельскохозяйственных наук Российской академии наук, Москва, Российская Федерация

**Яков Петрович Лобачевский**

доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Российской академии наук, первый заместитель директора Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, Москва, Российская Федерация

**Антонин Махалек**

доктор технических наук, директор Научно-исследовательского института сельскохозяйственной техники, г. Прага, Чешская Республика

**Тадеуш Павловски**

доктор технических наук, профессор, директор Промышленного института сельскохозяйственной техники, г. Познань, Республика Польша

**Владимир Дмитриевич Попов**

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, руководитель научного на-правления Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства, Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Жарылкасын Сарсембекович Садыков**

доктор технических наук, профессор, директор Научно-исследовательского института агроинженерных про-блем и новых технологий Казахского национального агроуниверситета, г. Алматы, Республика Казахстан

**Дмитрий Семенович Стребков**

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

**Юлия Сергеевна Ценч**

кандидат педагогических наук, доцент, начальник отдела образования, научно-технической информации и редакционно-издательской деятельности Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, Москва, Российская Федерация

**Вячеслав Иванович Черноиванов**

доктор технических наук, профессор, академик Российской академии наук, Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

SCIENTIFIC-THEORETICAL  
JOURNAL

The journal is registered by  
Federal Agency for Supervision of  
Legislation Observance of Mass  
Communications Sphere and  
Cultural Heritage Protection  
Certificate ПИ No. ФC77-68608  
from February, 3, 2017

**The Journal is included in the  
list of peer-reviewed scientific  
publications recommended  
by the Higher Attestation  
Commission for publishing the  
research results from theses for  
Ph.D. and Dr.Sc. degrees.**

The journal is included in the  
Russian Index of Scientific Citation  
(RISC).

Full texts of articles are placed on  
the website of electronic library:  
elibrary.ru

Protected by the Russian Federal  
Law RF №5351-1 "On Copyright  
and Related Rights" dated July 9,  
1993. Content is distributed under  
Creative Commons Attribution 4.0  
License. Violations are subject to  
prosecution.

#### EXECUTIVE EDITORS:

Bizhaev V.V.,  
Gorelova L.A.,  
Grishutkina S.V.,  
Nurbagandova R.M.  
Translation into English –  
Aleksii Alipichev

#### EDITORIAL OFFICE'S ADDRESS

109428, Moscow,  
1st Institutskiy proezd, 5  
Tel.: +7 (499) 174-88-11  
+7 (499) 174-89-01

<http://www.vimsmit.com>  
e-mail: [smit@vim.ru](mailto:smit@vim.ru)

**Printed by FSAC VIM**

**Russian Academy of Science**

The format is 205 × 290 mm

The issue was submitted 28.06.2019

The circulation is 500 copies

## [SEL'SKOKHOZYAYSTVENNYE MASHINY I TEKHNologii]

**Founder and publisher: Federal State Budgetary Scientific Institution  
"Federal Scientific Agroengineering Center VIM" of the Russian Academy of Science**

#### EDITOR-IN-CHIEF

**Andrey Yu. Izmaylov**

Dr.Sc.(Eng.), Member of the Russian Academy of Sciences, Academic Board Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

#### EDITORIAL BOARD

**Viktor V. Al't**

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Honoured Scientist of Russian Federation, Academician of NAS of Mongolia, Head of Scientific Division of Siberian Institute of Physics and Technology of Agrarian Problems, Novosibirsk, Russian Federation

**Khristo I. Beloev**

Dr. Sc. (Eng.), Professor, Corresponding Member of the Bulgarian Academy of Sciences, University of Ruse, Republic of Bulgaria

**Mikhail N. Erokhin**

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

**Yuriy A. Ivanov**

Dr.Sc.(Agr.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences; Director of the All-Russian Scientific and Research Institute of Livestock Mechanization, Podolsk, Russian Federation

**Yoshisuke Kishida**

Academician, President Shin-Norinsha Co., LTD, Tokyo, Japan

**Ivan M. Kulikov**

Dr.Sc.(Econ.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the All-Russian Horticultural Institute for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Moscow, Russian Federation

**Yuriy F. Lachuga**

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Academician Secretary of Department of Agricultural Sciences at the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

**Yakov P. Lobachevskiy**

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, First Deputy Director of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

**Antonin Makhalek**

Dr.Sc.(Eng.), Director of the Agricultural Machinery Research Institute, Prague, Czech Republic

**Tadeush Pavlovsky**

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Director of the Industrial Institute of Agricultural Machines, Poznan, Poland

**Vladimir D. Popov**

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Research Direction of the Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production, St.Peterburg, Russian Federation

**Zharylkasyn S. Sadykov**

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Director of Research Institute of Agroengineering Problems and New Technologies, Kazakh National Agrarian University, Almaty, Republic of Kazakhstan

**Dmitriy S. Strebkov**

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

**Yulia S. Tsench**

Ph.D.(Ed.), Associate Professor, Head of Publishing Activity, Education and Technical information Department of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

**Vyacheslav I. Chernouvanov**

Dr.Sc.(Eng.), Professor, Member of the Russian Academy of Sciences, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

**ИННОВАЦИИ**

- Шуки Ш., Цзяшэн В., Донгвей В.**  
Развитие механизации сельского хозяйства в Китае и его текущая стратегическая направленность ..... 4

**ЭКОЛОГИЯ**

- Сардар А.А., Тилеубаева Ж.С.**  
Влияние приемов обработки почвы и средств защиты растений на экологическое состояние почвенного покрова и урожайность ячменя .. 8
- Ракутько С.А., Ракутько Е.Н.**  
Моделирование и численный анализ энергоэкологичности светокультуры ..... 11
- Шинделов А.В., Иванов Н.М.**  
Инженерно-экологическое обеспечение борьбы с сорной растительностью ..... 18
- Уваров Р.А.**  
Выбор системы рециклинга навоза для молочной фермы с привязным содержанием 24

**НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ**

- Макаров В.А., Журавлева О.И., Шемякин А.В.**  
Пневматическая штанговая машина для рас-сеивания твердых минеральных удобрений ... 30

**ТЕХНИКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ**

- Тухтакузиев А.**  
Обеспечение равномерности глубины обработки почвы ..... 34
- Миронов Д.А., Сидоров С.А., Лискин И.В.**  
Прочностные и ресурсные характеристики почвообрабатывающих рабочих органов ..... 39
- Абдулхаев Х.Г., Халилов М.М.**  
Обоснование параметров ножей выравнивателя-рыхлителя ..... 44

**ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ**

- Ощепков П.П., Заев И.А., Смирнов С.В., Бижаев А.В.**  
Исследование биодизельного топлива с добавками пальмового масла и перекиси водорода ..... 48

**INNOVATION**

- Shuqi S., Jiasheng W., Dongwei W.**  
Development of agricultural mechanization in China and its current strategic focus ..... 4

**ECOLOGY**

- Sardar A.A., Tileubaeva Zh.S.**  
Influence of tillage methods and plant protection agents on the ecological parameters of soil cover and barley yield ..... 8
- Rakut'ko S.A., Rakut'ko E.N.**  
Simulation and numerical analysis of energy-and-ecological compatibility of indoor plant lighting . 11
- Shindelov A.V., Ivanov N.M.**  
Engineering and environmental support for weed control ..... 18
- Uvarov R.A.**  
Choosing a manure recycling system for a dairy farm with tied housing ..... 24

**NEW MACHINERY AND TECHNOLOGIES**

- Makarov V.A., Zhuravleva O.I., Shemyakin A.V.**  
Pneumatic sucker-rod machine for dispersing solid mineral fertilizers ..... 30

**MACHINERY FOR SOIL CULTIVATION**

- Tukhtakuziev A.**  
Ensuring the uniformity of tillage depth ..... 34
- Mironov D.A., Sidorov S.A., Liskin I.V.**  
Strength and durability characteristics of soil-cutting working tools ..... 39
- Abdulkhaev Kh.G., Khalilov M.M.**  
Determining the parameters of leveler-ripper shanks ..... 44

**PROBLEMS AND DECISIONS**

- Oshchepkov P.P., Zaev I.A., Smirnov S.V., Bizhaev A.V.**  
Study of biodiesel fuel with palm oil and hydrogen peroxide additives ..... 48

## Development of Agricultural Mechanization in China and Its Current Strategic Focus

**Shang Shuqi,**  
professor,  
e-mail: jiasheng0813@163.com;

**Wang Jiasheng;**  
**Wang Dongwei,**  
professor

College of Mechanical and Electrical Engineering, Qingdao Agricultural University, Qingdao, China

**Abstract.** China's agricultural machinery development has gone through five stages in its 100-year history: Germination stage of agricultural machinery development (1917-1949), Construction Stage of Modern Agricultural Machinery Industry System in China (1949-1979), System transformation Stage (1980-1995), Market-oriented stage (1996-2003), Rapid development stage (2004-2014). After the 12th Five-Year Plan, China's 13th Five-Year Plan has been going on for three years. Significant Achievements in Agricultural Mechanization has also made in recent 10 years. Although Agricultural Mechanization in China has made considerable progress, there are still great gaps in agricultural mechanization level compared with developed countries. In order to further narrow the gap between China's agricultural mechanization and developed countries, enhance the scientific and technological innovation ability of agricultural machinery, strategic focus of agricultural mechanization have been presented in China. The development strategy of "three steps" is defined, that is, the strategic objectives of China's agricultural machinery science and technology innovation and agricultural mechanization development to 2025, 2035 and 2050. Two Development Principles which are full process mechanization and Comprehensive mechanization, and from 1.0 to 4.0 of China Agricultural machinery are emphasized in China.

**Keywords:** agricultural mechanization, China, agricultural machinery development strategy.

■ **For citation:** Shuqi S., Jiasheng W., Dongwei W. Development of Agricultural Mechanization in China and Its Current Strategic Focus. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N3. 4-7 (In English). DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-3-4-7.

## Развитие механизации сельского хозяйства в Китае и его текущая стратегическая направленность

**Шан Шуки,**  
профессор, e-mail: jiasheng0813@163.com;

**Ван Цзяшэн;**  
**Ван Донгвей,** профессор

Колледж механики и электротехники, Сельскохозяйственный университет Циндао, Циндао, Китай

**Реферат.** В 100-летней истории развития сельскохозяйственного машиностроения в Китае можно выделить пять этапов: зарождение отрасли (1917-1949); системное развитие (1949-1979); преобразование системы (1980-1995); ориентация на рынок (1996-2003); интенсивное развитие (2004-2014). На сегодняшний день в стране третий год продолжается реализация 13-го пятилетнего плана. В последние 10 лет достигнуты значительные успехи в механизации сельского хозяйства. Однако ее уровень не достаточен по сравнению с развитыми странами. Чтобы сократить этот разрыв, а также повысить конкурентоспособность сельскохозяйственной техники, в Китае разработана стратегия научно-технического инновационного развития механизации сельского хозяйства. Она получила название «стратегии трех шагов», так как в ней обозначены цели развития сельскохозяйственного машиностроения механизации аграрной отрасли в соответствии с тремя периодами – до 2025, 2035 и 2050 годов. В настоящее время в Китае реализуются два принципа развития, которые представляют собой полную механизацию производственных процессов и всего сельского хозяйства в комплексе.

Ключевые слова: механизация сельского хозяйства, Китай, стратегия развития сельскохозяйственного машиностроения.

The fundamental way out for agriculture lies in mechanization. The experience of all countries in the world shows that agricultural mechanization is an important scientific and technological support for modern agricultural construction. Agricultural mechanization in China has played an important role in improving agricultural labor productivity, land productivity and resource utilization, and has made important contributions



to ensuring food safety. It can be said that the level of mechanization of a country also reflects its comprehensive national strength. In the past hundred years, China's political situation has changed from turbulence to stability, and the agricultural mechanization of New China has also experienced a gradual development from backwardness before the founding of the People's Republic, and has made tremendous progress [1-6].

#### *I History of Agricultural Mechanization*

##### *Germination stage of agricultural machinery development (1917-1949)*

Before the founding of New China, China could only produce hand-made farm tools such as hoes, sickles, shovels and some old-fashioned animal farm tools. Since the 1930s, China's agricultural machinery has developed to a certain extent. Eight farm implements factories have been set up. They are small in scale and simple in equipment. They mainly imitate machines, but their level is not high. During the World War II, livestock products, manual sprayers and other products began to be developed and produced. These backward technologies and low efficiency farm implements played a very limited role in promoting agricultural production. In 1945, the Government accepted the financial support of the United States Universal Corporation and sent 20 students to study the design and manufacture of agricultural machinery in USA. After three years, they returned home and were all allocated to universities, research institutes, factories and government departments in the field of agricultural machinery.

##### *Construction Stage of Modern Agricultural Machinery Industry System (1949-1979)*

China invested 324 million Yuan to set up a number of farm machinery factories. Starting from the production of old farm implements and imitation of new foreign farm implements, by 1957, the national farm machinery repair and manufacture factories had grown to 276, with 123,000 employees and a total industrial output value of 384 million yuan. Industrial machinery, and began to plan the production of tractors, agricultural machinery industry output value rapid growth. Agricultural mechanization schools were established in all provinces and some key areas of agricultural machinery development, thus forming a relatively perfect agricultural machinery education system.

After 1960, China's key industries such as tractors, internal combustion engines, machine-driven agricultural tools and other key industries have developed rapidly, and the production capacity has increased considerably, basically forming a product system corresponding to the level of agricultural development and rural purchasing power at that time, which provides a strong guarantee for the recovery and development of agricultural production.

##### *System transformation Stage (1980-1995)*

From 1980 to 1995, it was the stage of system transformation of agricultural machinery industry in China. With the deepening of reform and opening up, the role of

market mechanism in the production and extension of agricultural machinery is gradually enhanced. The state has gradually liberalized the planning and management of agricultural machinery industry. Social and non-governmental capital began to enter the field of agricultural machinery industry. Farmers were allowed to buy and use agricultural machinery independently. The pattern of co-existence of diversified management forms of agricultural machinery and equipment. The structure of agricultural machinery products has also changed accordingly.

The first is to adjust from large and medium-sized agricultural machinery to small and medium-sized agricultural machinery. Secondly, the production and sales of various small and medium-sized tractors, small and medium-sized combine harvesters, small and medium-sized agricultural by-products processing machinery, feed machinery, animal husbandry machinery and aquatic feeding equipment have increased rapidly. Small four-wheel tractors and agricultural transport vehicles with Chinese characteristics emerged as the times require.

##### *Market-oriented stage (1996-2003)*

Since the mid-1990s, the process of industrialization and urbanization in China has accelerated. With the transfer of rural labor to non-agricultural industries and cities, the seasonal and structural shortage of rural labor force has appeared. The voice for accelerating the process of agricultural mechanization has become increasingly high. Under the strong pull of market demand, a new round of development climax of China's agricultural machinery industry has emerged.

In the late 1990s, great progress was made in the research and development of self-propelled corn harvester, self-propelled full-feeding rice-wheat combine harvester and mobile rice transplanter with Chinese characteristics. The technology of the product was gradually mature, and it had the ability of mass production and marketing.

The number of private enterprises has increased year by year, and the proportion of assets and sales revenue has increased year by year. International famous multinational corporations have built factories wholly or jointly in China. A diversified industrial structure consisting of state-owned or state-owned holding enterprises, private enterprises and foreign-funded enterprises has initially been formed.

##### *Rapid development stage (2004-2014)*

China launched the subsidy policy for the purchase of agricultural machinery in 2004. The central government allocated 0.7 billion yuan (RMB) in subsidies. In 2004, and in 2015, 23.75 billion yuan (RMB) in subsidies. The central government has invested 214 billion yuan in supporting farmers to purchase advanced agricultural machinery till 2017.

In 2010, the China State Council promulgated the Opinions on Promoting Agricultural Mechanization and the Sound and Rapid Development of Agricultural Machinery Industry.

From 2004 to 2014, the national policy support, the scale of agricultural machinery industry, enterprises' independent innovation ability, scientific research and development, product quality level, joint venture cooperation and import and export trade all reached the highest level in history. China's agricultural machinery ushered in the best period of development in history, known as the "golden decade" of China's agricultural machinery.

### *II Present Situation of Agricultural Mechanization*

After the 12th Five-Year Plan, China's 13th Five-Year Plan has been going on for three years. Significant Achievements in Agricultural Mechanization has also made in recent ten years. According to the statistics, total power of agricultural machinery in 2017 reached 1.146 billion kilowatts, large and medium-sized tractors, transplanters, combine were 6.454 million units, 771,000 units and 1902,000 units, respectively. The level of comprehensive mechanization of crop cultivation has reached over 66%. By 2017, the level of mechanization of crop tillage, seeding and harvesting in China was 83.45%, 59.36% and 54.21%, respectively. The level of mechanization of weak links such as rice transplanting and maize harvesting by machine had made remarkable breakthroughs, and the mechanization of production of major cash crops such as cotton oil and sugar had made substantial progress, with production increasing efficiency and resources saving. The area of environmental friendly agricultural mechanization is growing.

In 2017, there were 187,000 agricultural machinery operation service organizations in China, of which 63,000 specialized agricultural machinery cooperatives were established; the total income of agricultural machinery operation in China reached 538.8 billion yuan, the system of agricultural machinery specialization and socialization was more perfect, and the efficiency was continuously improved, making it a prosperous rural economy. And an important force to increase farmers' income.

### *III Strategic Focus of Agricultural Mechanization*

Although Agricultural Mechanization in China has made considerable progress, there are still great gaps in agricultural mechanization level compared with developed countries. In order to further narrow the gap between China's agricultural mechanization and developed countries, enhance the scientific and technological innovation ability of agricultural machinery, strategic focus of agricultural mechanization have been presented in China.

#### **Three-step Strategic Target**

*Step I:* By 2025, agricultural mechanization will be basically realized, and the ability of scientific and technological innovation of agricultural machinery will be significantly enhanced. We will focus on breaking through the weak links and key core technologies in the development of agricultural mechanization to achieve "from scratch" and "from scratch to completion" of Agricultural Mechanization in China.

*Step II:* By 2035, agricultural mechanization will be

realized in an all-round way, and the scientific and technological innovation ability of agricultural machinery will basically reach the level of developed countries, with emphasis on information technology to enhance the level of agricultural mechanization, so as to realize the "from all to good" Agricultural Mechanization in China.

*Step III:* By 2050, agricultural mechanization will reach a higher level and realize automation and intellectualization. Agricultural machinery science and technology innovation ability will run side by side with developed countries, and some areas will lead the development of agricultural machinery, focusing on Intelligent technology, so as to realize the "from good to strong" of Agricultural Mechanization in China.

#### **Two Development Principles**

*Principle I:* Full process mechanization and Comprehensive mechanization.

Full process mechanization mainly includes the production mechanization of each link. The whole process of pre-production, production and post-production is mechanized. Comprehensive mechanization mainly refers to mechanization of crops in all, industrial development and regional development. Crop in all is from grain crops to cash crops, horticultural crops, forage crops. The comprehensive development of industry: from planting to breeding (livestock, poultry, aquatic products), and primary processing of agricultural products. The comprehensive development of "regional": from plain area to hilly area.

*Principle II:* From 1.0 to 4.0 of China Agricultural machinery.

Agricultural machinery 1.0 refers to "from scratch", characterized by the replacement of human and animal power by machines. At present, China has made great achievements in this stage, but there are still many "shortcomings" and weak links. Agricultural Machinery 2.0 refers to "from existing to complete", which is characterized by full mechanization. This is the direction that China should vigorously "popularize" at the present stage. Agricultural machinery 3.0 refers to "from whole to good", characterized by the use of information technology to enhance the level of agricultural mechanization, this stage is being tested "demonstration". Agricultural Machinery 4.0 refers to "from good to strong", that is, to achieve automation and intellectualization of agricultural machinery, agricultural machinery + Internet, that is, intelligent agriculture and agricultural robotics technology, this direction needs to be actively explored.

According to China's national conditions, from agricultural machinery 1.0 to agricultural machinery 4.0 can not follow the path of sequential development, we must develop in parallel and promote synchronously.

#### **SUMMARY**

With the increasingly serious global food crisis and labor shortage, new opportunities and challenges put forward the need to accelerate the development of agricul-



tural mechanization. With the rapid development of agricultural mechanization, how to save costs, eco-environmental protection and improve efficiency is the task facing every country.

Although Agricultural Mechanization in China has made considerable progress, there are still great gaps in agricultural mechanization level, agricultural machinery equipment manufacturing level, product reliability and agricultural machinery operation efficiency compared with developed countries. The weak basic research and key technology research of agricultural mechanization, the low degree of technology integration and the weak ability of sustainable development have become the "short board" and bottleneck restricting the transformation and upgrading of agriculture.

Great strides in economy and science and technology have made great achievements in the development of Ag-

ricultural Mechanization in China, and the content of science and technology in agriculture is also increasing. In the era of knowledge-based economy, modern agricultural mechanization equipment with multi-disciplinary and cross-cutting characteristics is the solid backing to support the sustainable development of agriculture. Therefore, we should actively strengthen the innovation of science and technology and the improvement of management level, grasp the market law, develop agriculture, seize the opportunity, promote the development of agricultural machinery science and technology, strengthen the technological innovation of agricultural machinery, and construct a perfect new agricultural mechanization service system, so as to make the leap-forward development of agricultural mechanization become a reality in China.

## REFERENCES

1. Zhongyi Y. China Agricultural Mechanization Yearbook 2017. China Agricultural Science and Technology Publishing House. 2018 (In English).
2. Xiwen L. Thoughts on Scientific and Technological Innovation of Agricultural Machinery in China. *Modern Agricultural Equipment*. 2018. N6. 12-17 (In English).
3. Yi M. Looking Back to the Twelfth Five-Year Plan and Looking Forward to the Thirteenth Five-Year Plan. *China Agricultural Machinery Supervision*. 2016. N12. 22-25 (In English).
4. Xuefeng B., Zhixiong L., Jiangxue Ch. Current Situation and Development Model of Agricultural Mechanization in China. *Journal of agricultural mechanization research*. 2017. N10. 256-262 (In English).
5. Zhi Ch., Xiwen L., Fengde W. From Zero Foundation to the Development of a Big Country of Agricultural Machinery: A Retrospect of the Development of China's Agricultural Machinery Industry in the Past 100 Years. *Journal of Agriculture*. 2018. N8(1). 150-154 (In English).
6. Xiwen L. Improving the Mechanization of Agricultural Production in Weak Links. *Modern Agricultural Equipment*. 2017. N5. 8-12 (In English).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 02.05.2019  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 02.05.2019

Статья принята к публикации 26.06.2019  
The paper was accepted  
for publication on 26.06.2019

## Influence of Tillage Methods and Plant Protection Agents on the Ecological Parameters of Soil Cover and Barley Yield

Aizhan A. Sardar<sup>1</sup>,  
postdoctoral student, e-mail: s\_aizhan.888@mail.ru;

Zhanar S. Tileubaeva<sup>2</sup>,  
Ph.D.(Biol.)

<sup>1</sup>National Agrarian University, Almaty, Kazakhstan;

<sup>2</sup>Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan

**Abstract.** Excessive and unbalanced use of the pesticides that is necessary to protect agrophytocenoses against pests leads to environmental pollution. Harmful pesticides tend to enter the natural cycles of substances. Therefore, they are quick to disappear or be destructed by biological agents. There are also “nondestructive” pesticides, which do not enter the natural cycles; neither they are accumulated in food chains and in biotopes. These substances have become an object of research in the field of environmental safety.

**Keywords:** soil erosion, soil tillage, pesticides, barley, weed plants, efficiency of plant protection agents, ecological compatibility.

■ **For citation:** Sardar A.A., Tileubaeva Zh.S. Influence of tillage methods and plant protection agents on the ecological parameters of soil cover and barley yield. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N3. 8-10 (In English). DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-3-8-10.

## Влияние приемов обработки почвы и средств защиты растений на экологическое состояние почвенного покрова и урожайность ячменя

Айжан Анарбеккызы Сардар<sup>1</sup>,  
докторант, e-mail: s\_aizhan.888@mail.ru;

Жанар Слямхановна Тилеубаева<sup>2</sup>,  
кандидат биологических наук

<sup>1</sup>Казахский национальный аграрный университет, Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup>Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан

**Реферат.** Чрезмерное и несбалансированное использование пестицидов, необходимых для защиты агрофитоценозов от вредителей, приводит к загрязнению окружающей среды. Ядовитые пестициды вступают в естественные циклы круговорота веществ. Они быстро исчезают или подвергаются уничтожению биологическими агентами. Есть также «невредные» пестициды, которые не вступают в естественные циклы круговорота веществ и не накапливаются в пищевых цепочках и в биотопах. Эти вещества стали предметом исследования в области экологической безопасности.

**Ключевые слова:** эрозия почвы, обработка почвы, пестициды, ячмень, сорняки, эффективность средств защиты растений, экологичность.

The problem of rational using farmlands has become increasingly important. Intensive farming with application of annual moldboard plowing as the main cultivation method without taking into account agro-ecological characteristics of a relief, leads to the degradation of a soil cover. Strengthening of erosive processes on these soils leads to impoverishment of organic matter, decreased soil fertility, and deterioration in a phytosanitary condition of crops.

An important factor in increasing the yield of grain crops is effective scientifically based tillage. Repeated tillage contribute to topsoil dispersion, soil structure disturbance, fast decomposition of organic matter, degradation and decrease of the soil fertility, the compaction of topsoil and plough-pan, erosive processes and significant increase in material inputs.

The conventional tillage technology is based on moldboard plowing and requires considerable power and labor expenses. It takes about 36-38% of fuel from the need for cultivation of any crop as a rule, plowing is not carried out at the optimum time, and in the most cases, it is necessary to carry out spring plowing, which significantly delays the sowing time.

At zero-tillage farming there is no turnover of layer, and the stubble remains of plants do not penetrate completely into the soil, they are only mixed up with it, thus forming the mulching layer. This organic matter is accumulated mainly in the upper part of the topsoil, where favorable conditions for the access of air, moisture and heat are created, which contribute to the rough microbiological processes in the soil.

The problem of degradation of arable lands owing to appearance of erosive processes is particularly acute not only in Kazakhstan. Increase in population, intensive development of agricultural production result in increased anthropogenic effects. Intensive farming, leading to decrease in fertility of the soil, change of the natural soil cover, plowing of virgin lands of forest-steppe and steppe areas, deforestation, strengthen erosive processes even more. It leads to the reduction of arable land areas, their degradation and thus, reduced crop yields of a decreased quality.

One of the factors reducing the fertility of eroded soils is the impoverishment of organic matter leading to a decrease in biological activity. Due to the disturbance of normal microbiological processes, accumulation of mineral nutrients by plants, decomposition of plant residues, humus synthesis, etc. are weakened in these soils.

Another factor, significantly reducing the field crop yields is the contamination of crops by weeds. Weeds, owing to their biological features, negatively influence on the balance of nutrients, water-air, heat and light conditions; they fiercely compete with cultural plants for life factors, oppressing their growth, reducing the effectiveness of applied agricultural methods, mineral and organic fertilizers, and, as a result, the crop yield decreases. The use of soil-protective tillage technologies without applying highly effective herbicides leads to more intensive contamination of field crops with perennial weeds, and unsystematic use of pesticides leads to environmental pollution and deterioration of the phytosanitary condition of crops.

According to V.A. Zakharenko (2004), potential yield losses from pests on average account for 50.1 million tons of grain on agricultural enterprises, and on personal farms—48.7 million tons. Potential yield losses for different crops from weeds account for 17.3-26.6%; diseases of 8-24%; and pests of 8.25-20%.

Agricultural experience of many enterprises shows that up to 40% and more areas of grain crops are cultivated on adverse predecessors. According to generalized data, the yield of barley is reduced to 30% exactly due to phytosanitary reasons as crops are sown after bad predecessors. In modern agriculture the greatest opportunities to save energy resources are available on condition that fodder grass cultivation is organization more efficiently, which is one of the main links of agricultural biologization.

Therefore, now, when the range of safe chemical agents extends and their application grows, there is a need to develop new systems of crop protection combined with soil protection tillage systems, which would consider agro-ecological features of farm lands. This will allow reducing anthropogenic impacts, erosive losses, while improving the phytosanitary condition of crops and ensuring stable crop yields of high quality [1].

Broad use of pesticides in agricultural practice has led

to the fact that all countries of the world face problems of the waste of pesticides. According to T. Bicki and A. Felsot, in the USA there are 14,000 agrochemical companies for storage, sale, mixing or use of pesticides. The similar enterprises are placed in many other countries as well. The condition of the soil polluted by pesticides because of floods, improper storage, inadequate disposal of washouts and containers and accumulation of the remains of chemical agents of crop protection is become a current problem not only in the USA, the countries of Europe, the CIS, but also in our Republic [2, 3].

Migration or transfer of elements and natural compounds is one of the geochemical regularities of the biosphere. Recently, the various xenobiotic substances, which are artificially put into the landscape are involved in this all-planetary process as well; it is also related to pesticides, products of their transformation and destruction. The process of migration is believed to determine the various consequences for the biosphere of biocides and other xenobiotics (landscape-regional, regional-basin and global after-effects). Migration can be characterized as a complex process of the redistribution of xenobiotics (and products of their transformation) in space and time. Pesticides can be transformed into various products in the process of such redistribution. Invariable initial compounds with products of its transformation are usually called pesticide residues. Processes of pesticide transformation in soils were considered in detail [3-5].

In laboratory researches of pesticide behavior in the environment, the following processes are considered separately: metabolism by microorganisms, movement in the soil, photodecomposition on the surface and in the vaporous state, evaporation from surfaces of plants or the soil, absorption by plants. But these processes can take place at the molecular level in the environment, so at each stage of the dispersion of pesticides, one or several processes can play a major role. At present, used various methods are used to study the accumulation, action and extent of pesticide decomposition in soils, and also their neutralizations by chemical, biological and other means. Soil pollution is controlled based on monitoring the threshold limit values (TLV) of harmful substances in the soil which are established approximately for 50 substances, mainly the toxic chemicals used for crop protection against pests and diseases.

So far as adverse influence of pollutants on the soil is shown through the trophic chain, in practice use is made of two indicators to assess the extent of soil pollution:

- threshold limit value in the soil (TLV), mg/kg;
- acceptable residual quantities (ARQ), mg/kg of crop mass (*Table*) [6].

In Kazakhstan, the research in the field of the environmental and economic assessment of agricultural lands started from the 1990s and they are taking rather a new course. The situation is complicated by the absence or limitation of environmental monitoring data on land resource-

| Table<br>THRESHOLD LIMIT VALUES (TLV) OF HARMFUL SUBSTANCES IN THE SOIL |               |               |
|-------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------|
| Pesticide                                                               | TLV,<br>mg/kg | ARQ,<br>mg/kg |
| Chlorophos (trichlorfon)                                                | 0.5           | 1.0           |
| Karbofos (malathion)                                                    | 2.0           | 1.0           |
| Prometrin (prometrin)                                                   | 0.5           | 0.1           |
| Polychlorocamphene (toxaphene)                                          | 0.5           | 0.1           |
| Ramrod (propachlor)                                                     | 0.3           | 0.2           |

es. Therefore, the development and implementation of environmental and economic assessment did not reach the level of foreign countries with developed economies. Nevertheless, at present certain theoretical-methodical bases are formed and practical experience of carrying out environmental and economic assessment of agricultural lands located in different regions of the country with various natural-economic conditions is gained.

According to data of Committee of Statistics of the RK Ministry of Economics, in 2018, in Kazakhstan 15.135 million hectares were sown by grain crops that is 2% lower than the last season indicator. According to data, wheat crops were reduced almost by 570 thousand hectares (4-5%). Also the acreages of rice, rye and buckwheat decreased to 102 thousand hectares (-3%), 21.6 thousand hectares (-11%) and 99.2 thousand hectares (-33%) respectively. Nevertheless, the acreages, recorded for this crop – 2.5 million hectares, are sown with barley that is 22% higher than the last season indicator.

Diversification of the crop industry in specific climatic conditions of Kazakhstan showed high ecological and

economic fitness of barley that allows to develop ecologically flexible, salt-, drought-resistant varieties of this crop. Barley continues to be the most economical and productive grain and fodder crop in Kazakhstan, and it has considerable specific weight in the grain crop structure – 26% [8].

In developing the integrated systems of protection against pests, one should constantly search for pesticides, which are low-toxic for the humans, and the dangers associated with their destruction and transformations in the environment, circulation as both initial combinations and metabolites should be avoided. It should be noted that development costs of highly effective and ecologically safe pesticides are very high, both in terms of economics, and research, however in case of positive result they pay off, taking into account social interests. Long corresponding researches, which will allow to rethink the strategy of their use, are necessary to clarify the process regularities of cleaning landscape and its separate elements from pesticide residues. Development of methods to reduce the mobility of pesticides, studying the opportunities to determine bio-accumulation of pesticides in terrestrial organisms and interaction of the agro-ecosystem with other ecosystems are relevant as well.

According to the above facts, we can recommend that toxicological and hygienic research should be done to establish of hygienic regulations and standards of pesticide content in the objects of external environment – air of the work area, atmospheric air, the soil, water reservoirs, and foodstuff [7].

## REFERENCES

1. Zakharenko V.A. Bor'ba s sornyakami [Weed control]. Moscow: ZiKR. 2004. 88 (In Russian).
2. Bicki T.J., Felsot A.S. Remediation of pesticide contaminated soil at agrichemical facilities. In Mechanisms of Pesticide Movement into Ground Wate (Honeycutt, R. C. and D. J. Schabacker, Editors). Lewis Publishers, Boca Raton, FL. 1994. 81-99 (In English).
3. Migratsiya zagryaznyayushchikh veshchestv v pochvakh i sopredel'nykh sredakh [Migration of soil and adjacent environment pollutant]. Edited by V.A. Borzilov and S.G. Malakhov. Leningrad: Gidrometeoizdat. 365 (In Russian).
4. Kovda V.A. Changing trends in the biosphere and in biogeochemical cycles. *Environmental Conservation*. 1976. Vol. 3. Issue 3. 161-170 (In English).
5. Matveeva R.A. Ekologicheskaya otsenka migratsii pestitsidov v prirodnykh sredakh [Ecological assessment of migration of pesticides in environments]. Moscow: Kolos. 1982. 126 (In Russian).
6. Shil'nikova N.V., Andriyashina T.V. Vliyanie pestitsidov na biotsenoz pochvennogo pokrova [Influence of pesticides on the biocoenosis of the soil cover]. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*. 2012. Vol. 15. Issue 7. 140-145 (In Russian).
7. Tokhetova L.A., Bekova M.K., Demesinova A.A., Erzhanova E.A. Kompleksnaya otsenka sortoobraztsov yachmenya na ustoichivost' k stressovym faktoram Priaral'ya [Complex assessment of barley cultivars on resistance to stress factors of the Aral Sea region]. *Molodoy uchenyy*. 2015. N19(99). 11-13 (In Russian).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 03.06.2019  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 03.06.2019

Статья принята к публикации 25.06.2019  
The paper was accepted  
for publication on 25.06.2019

## Моделирование и численный анализ энергоэкологичности светокультуры

Сергей Анатольевич Ракутько,

доктор технических наук, главный научный сотрудник,  
e-mail: sergej1964@yandex.ru;

Елена Николаевна Ракутько,

научный сотрудник

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал Федерального агроинженерного центра ВИМ, Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Реферат.** Для разработки теории и практики управления процессами в теплице необходимо создать математическую модель светокультуры. (*Цель исследования*) Разработать методику моделирования и анализа энергоэкологичности светокультуры. (*Материалы и методы*) Провели экспериментальное подтверждение предложенной методики для светокультуры рассады томата, выращиваемой в лабораторных условиях с контролируемыми параметрами среды. Использовали облучатель, состоящий из светодиодной матрицы с вторичной оптикой и драйвером. Фотопериод составлял 16 часов. Эксперимент завершили на 46 сутки. Методика включает анализ эффективности преобразования энергии на различных этапах в блоках модели искусственной биоэнергетической системы светокультуры: источник электрического питания; источник излучения; оптическая часть; пространственное распределение потока; поверхностное распределение потока; растение. Предложили формулы для вычисления энергоемкости каждого из блоков искусственной биоэнергетической системы светокультуры. Выявили, что для принятых по экспертным оценкам значений энергоемкости каждого блока общая энергоемкость составляет 0,32-2,27 мегаджоуля на один грамм сырой массы растения, то есть различается практически на порядок, в зависимости от конкретной реализации технологии светокультуры. Показали, что оптимизация не сводится к последовательному выбору на каждом этапе варианта с наименьшим значением энергоемкости, но требует поиска оптимального маршрута на графе вариантов. (*Результаты и обсуждение*) Для условий эксперимента общая энергоемкость искусственной биоэнергетической системы светокультуры составила 3,77 мегаджоуля на один грамм сырой массы растения. Причина низкой эффективности – неудовлетворительная фотонная отдача светодиодной матрицы и малая продуктивность фотосинтеза в растении. (*Выводы*) Разработанная методика моделирования и анализа энергоэкологичности светокультуры позволила оценить возможности энергосбережения на каждом этапе преобразования энергии и вещества в светокультуре. Теоретически возможное снижение потерь в источнике электрического питания составляет 22 процента; в оптической части – 14 процентов; при формировании пространственного распределения потока – 16 процентов; поверхностного распределения потока – 10 процентов. Возможность повышения эффективности источника излучения зависит от достигнутого уровня техники, который в настоящее время обеспечивает отдачу не менее 2,5 микромоля с одного джоуля. Для повышения продуктивности светокультуры необходимо точное согласование параметров светового режима и требований растений.

**Ключевые слова:** тепличное овощеводство, культивационные сооружения, энергоэкология светокультуры, энергоэффективность производства.

■ **Для цитирования:** Ракутько С.А., Ракутько Е.Н. Моделирование и численный анализ энергоэкологичности светокультуры // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №3. С. 11-17. DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-3-11-17.

## Simulation and Numerical Analysis of Energy-and-Ecological Compatibility of Indoor Plant Lighting

Sergei A. Rakutko,

Dr.Sc.(Eng.), chief research engineer,  
e-mail: sergej1964@yandex.ru;

Elena N. Rakutko,

research engineer

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – Branch of of FSAC VIM, Saint-Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** To develop the theory and practice of operation procedures in a greenhouse, a mathematical model of indoor plant lighting is required. (*Research purpose*) Development of a simulation and analysis technique of energy-and-ecological compatibility of indoor plant lighting. (*Materials and methods*) The authors experimentally verified the proposed technique for the indoor plant lighting of tomato seedlings grown under laboratory conditions with controlled environmental parameters. An irradiator consisting of a LED matrix with secondary optics and a driver was used. The photoperiod amounted to 16 hours. The experiment was completed for 46 days. The technique includes an analysis of the energy conversion efficiency at various stages in the blocks of the artificial bioenergy system of indoor plant lighting (ABES): a source of electrical power; a radiation source; an optical part; spatial flow distribution; surface flow distribution; and a plant. The authors proposed formulas for calculating the energy consumption of each ABES unit. It was revealed that for the estimated values of the energy consumption of ABES blocks taken according to expert estimates, the total energy consumption accounts for 0.32-2.27 megajoule per one gramme of wet weight of a plant, i.e. differs by almost an order of magnitude, depending on the specific implementation of the lighting technology. It is shown that optimization cannot be limited by consistent selection of an option with the lowest value of energy consumption at each stage, but requires finding the optimal route on the graph of options. (*Results and discussion*) For the experimental conditions, the total energy consumption of ABES was 3.77 megajoule per one gramme of the wet weight of a plant. The low efficiency was caused by the unsatisfactory efficiency of the LED matrix and the low productivity of the plant photosynthesis. (*Conclusions*) The developed technique for modeling and analyzing the energy-and-ecological compatibility of indoor plant lighting allowed assessing possible energy saving at each stage of energy and substance conversion in indoor plant lighting. Theoretically, possible reduction of losses in the source of electrical power is 22 percent, in the optical part – 14 percent; in spatial flow distribution – 16 percent; in surface flow distribution – 10 percent. Possible increasing of the lighting source efficiency depends on the achieved level of technology, which currently provides an output of 2.5 micromole per joule and more. To increase the productivity of indoor plant lighting, it is necessary to precisely match the parameters of the lighting mode and the requirements of plants.

**Keywords:** greenhouse vegetable growing, cultivation facilities, energy-and-ecological assessment of indoor plant lighting, energy efficiency of production.

■ **For citation:** Rakut'ko S.A., Rakut'ko E.N. Modelirovanie i chislennyi analiz energoekologichnosti svetokul'tury [Simulation and numerical analysis of energy-and-ecological compatibility of indoor plant lighting]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N3. 11-17 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-3-11-17.

Сельскохозяйственное производство – достаточно сложный объект управления. Его оптимизация возможна путем цифровизации и внедрения новейших информационных автоматизированных систем управления [1]. Это справедливо для всех отраслей АПК, в том числе и для тепличной отрасли, уровень производства продукции в которой в настоящее время имеет большие резервы для роста в искусственной биоэнергетической системе светокультуры. Для повышения эффективности следует совершенствовать и оптимизировать технологические процессы, а также внедрять инновационное оборудование.

Чтобы управлять процессами в теплице, например продуктивностью растений, необходимо оперировать математической моделью светокультуры [2]. Под математическим моделированием тепличного производства понимают описание влияния условий окружающей среды (температуры, облученности и других факторов) на рост растений [3]. Это направление исследований зародилось в конце 60-х гг. прошлого столетия благодаря развитию физиологии растений и вычислительной техники. Математическая модель представляет собой абстракцию реального объекта, и ее цель заключается в изучении и анализе поведения системы под влиянием различных условий [4].

Оптическое излучение (ОИ) в области фотосинтетически активной радиации (ФАР) служит важней-

шим фактором выращивания растений в искусственно созданной среде культивационного сооружения, который имеет наибольший вес в составе затрат на выращивание растений [5]. Использование светодиодных (СД) источников света позволяет обеспечить возможность варьирования параметрами радиационной среды (интенсивностью, спектральным составом, продолжительностью облучения). Управление облучением в условиях светокультуры неразрывно связано с проблемами обеспечения энергоэффективности и экологичности производства [6].

Энергоэффективность светокультуры заключается в достижении требуемого уровня продуктивности растений при использовании меньшего количества энергии, что обеспечивается применением наилучших доступных технологий светокультуры (НДТС) из арсенала технического и технологического обеспечения. Показатель энергоэффективности характеризует долю потока энергии, используемой для получения полезной продукции, от общего количества затрачиваемой энергии. Для численного определения показателей, отражающих распределение потоков энергии в целях обеспечения нормируемых параметров микроклимата и режимов технологического процесса выращивания растений, проводят процедуру энергоаудита (энергетического обследования) светокультуры.

Экологичность светокультуры проявляется в измеряемых и (или) оцениваемых свойствах процесса выращивания растений в контролируемых условиях как НДТС, представляющих его естественную или намеренно обеспеченную способность оказывать воздействие на окружающую среду лишь в допустимых пределах. Для оценки соблюдения нормативных требований в области охраны окружающей среды и получения экологически чистой продукции проводят экоаудит (экологическое обследование) светокультуры.

Общемировой тенденцией последних десятилетий стала тесная связь проблем энергоэффективности и экологичности технологических процессов, чему способствовало ужесточение экологических норм и повышение требований к качеству готовой продукции. Объединение энергетического и экологического подходов позволяет предложить понятие энергоэкологичности светокультуры, связывающей потоки энергии ОИ и потоки продуктов фотосинтеза в светокультуре [7].

Интегральный подход к проблеме повышения эффективности светокультуры предполагает учет как физических процессов в технических средствах, так и биологических процессов в растениях.

**Цель исследования** – разработать методики моделирования и анализа энергоэкологичности светокультуры.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** Провели эксперимент для подтверждения предложенной методики энергоэкологического анализа одного из вариантов светокультуры рассады томата, реализованной на СД. Измерения проводили в лаборатории энергоэкологии светокультуры Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиала ФНАЦ ВИМ в марте 2019 г. Результаты обрабатывали с помощью пакета *MS Excel*.

**Растительный материал.** В качестве объекта исследования взяли рассаду томата (*Solanum Lycopersicum* L.) Полонез F<sub>1</sub>. Взрослые листья томата яйцевидные и нечетно-перистосложные. Обычно присутствуют три пары глубоко лопастных больших боковых листочков. Между большими боковыми листочками располагаются пары более мелких неразделенных листочков. В пятом или шестом узле над семядолями листья достигают своего полного размера и сложности, характерных для данного сорта томата. Эти особенности определяют архитектуру растения. Рассаду выращивали в контейнерах объемом один литр с торфогрунтом, состоящим из одной части субстрата «Живая земля» и двух частей торфа. Проводили необходимый полив и подкормки. Биометрические измерения ТВ осуществляли на 46 сутки после всходов.

**Технические средства светокультуры.** Температуру воздуха в лабораторном помещении поддерживали с помощью системы вентиляции на уровне 20–22°C. Влажность воздуха составляла 60–70%. Исполь-

зовали облучатель на базе СД-матрицы, выполненной по технологии COB (*chip-on-board*) с драйвером ХС-1100W3A-НТР и линзой 90°. Паспортные данные драйвера: напряжение питания 85–265В, потребляемый ток до 1,38 А, выходное напряжение 23–35 В, ток нагрузки 3000 мА. Спектр, задаваемый соотношением интенсивности излучения в синем  $k_B$  (400–500 нм), зеленом  $k_G$  (500–600 нм) и красном  $k_R$  (600–700 нм) спектральных диапазонах ФАР, составлял, %:  $k_B$ :  $k_G$ :  $k_R$  = 31:20:49. Соотношение красного излучения к дальнекрасному  $k_{FR}$  (700–780 нм) равно 2,7 отн. ед. Фотонную облученность в зоне ФАР в процессе эксперимента поддерживали на уровне  $E=140$  мкмоль·м<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup> изменением высоты подвеса облучателей над верхушками растений. Фотопериод после расстановки рассады составил  $T_{ФП} = 16$  ч (с 7.00 до 23.00 ч). Продолжительность работы облучательной установки за время эксперимента составила:

$$T = 3600 T_{ФП} T_B = 3600 \cdot 16 \cdot 46 = 2,65 \cdot 10^6 \text{ с.}$$

**Методика энергоэкологического анализа.** В светокультуре могут быть выделены различные иерархические уровни, что позволяет говорить о ней как об искусственной биоэнергетической системе светокультуры (ИБЭСС) [8]. На рисунке 1 показана блок-схема модели ИБЭСС.

Предложено выделить шесть блоков или этапов, преобразования энергии в модели ИБЭСС. Входной сигнал каждого следующего этапа формируется на выходе предыдущего  $i$ -го этапа.

Величина суммарных потерь:

$$\Delta Q = \sum_{i=1}^5 \Delta Q_i. \quad (1)$$

Наличие потерь означает потенциально имеющиеся резервы энергосбережения. Их поиск на каждом этапе обеспечит наименьшую общую энергоемкость.

**Первый этап** преобразования энергии происходит в источнике электрического питания 1. Его задача – стабилизировать потребляемый ток СД на уровне  $I_1$  при некотором установившемся напряжении  $U_1$ . При этом ток на входе равен  $I_H$  при сетевом напряжении  $U_H$ . Входной сигнал представляет собой потребляемую от сети мощность  $P_H$ . Выходной сигнал – мощность  $P_1$ , потребляемую СД. Энергетические потери на данном этапе связаны с потерями энергии в источнике электрического питания.

Энергоемкость данного этапа преобразования энергии представляет собой величину, обратную КПД драйвера  $\eta_1$ , отн. ед., и равна:

$$\varepsilon_1(t) = \frac{1}{\eta_1(t)} = \frac{Q_H(t)}{Q_1(t)} = \frac{P_H(t)T}{P_1(t)T} = \frac{U_H(t)I_H(t)}{U_1(t)I_1(t)}. \quad (2)$$

Современные драйверы для СД имеют КПД в диапазоне  $\eta_1=0,79$ –0,95 отн. ед., в зависимости от загрузки драйвера. Более высокие значения соответствуют номинальному режиму загрузки. Это дает оценку

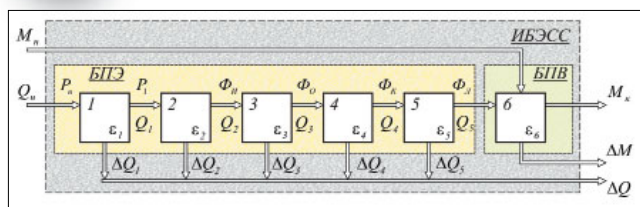


Рис. 1. Модель искусственной биоэнергетической системы светокультуры (ИБЭСС):

1 – источник электрического питания; 2 – источник излучения; 3 – оптическая часть; 4 – пространственное распределение потока; 5 – поверхностное распределение потока; 6 – растение; БПЭ – блок преобразования энергии; БПВ – блок преобразования вещества;  $Q_H$  – исходный поток энергии;  $M_H$  – исходный поток вещества;  $M_K$  – выходной поток вещества;  $\Delta M$  – потери вещества;  $\Delta Q$  – суммарные потери энергии;  $Q_1$ – $Q_5$  – потоки энергии на выходе соответствующих блоков модели;  $\Delta Q_1$ – $\Delta Q_5$  – потери энергии в соответствующих блоках модели;  $P_H$  – потребляемая от сети мощность;  $P_1$  – потребляемая источником мощность;  $\Phi_H$  – поток источника;  $\Phi_0$  – поток облучателя;  $\Phi_K$  – поток на крону растения;  $\Phi_L$  – поток на листья;  $\varepsilon_1$ – $\varepsilon_6$  – энергоёмкости блоков

Fig. 1. Model of an artificial bio-energetic system light crops (ABES): 1 – the source of electrical power; 2 – radiation source; 3 – the optical part; 4 – the spatial distribution of the flow; 5 – surface flow distribution; 6 – plants; БПЭ – energy conversion unit; БПВ – substance conversion unit;  $Q_H$  – input energy flow;  $M_H$  – input substance flow;  $M_K$  – output substance flow;  $\Delta M$  – substance loss;  $\Delta Q$  – total energy loss;  $Q_1$ – $Q_5$  – output energy on the corresponding units;  $\Delta Q_1$ – $\Delta Q_5$  – output energy losses on the corresponding units;  $P_H$  – rated power;  $P_1$  – light source power;  $\Phi_H$  – light source flow;  $\Phi_0$  – irradiator flow;  $\Phi_K$  – crown flow;  $\Phi_L$  – leaves flow;  $\varepsilon_1$ – $\varepsilon_6$  – units power consumption.

энергоёмкости данного этапа  $\varepsilon_1=1,05$ – $1,27$  отн. ед. Резерв снижения энергоёмкости заключается в применении более технически совершенных драйверов и обеспечении номинального режима их работы.

Второй этап связан с генерацией фотонов в источнике излучения 2. При моделировании этого этапа «качество» фотонов для растения пока не рассматривается. Энергетические потери на данном этапе связаны с неполным преобразованием электроэнергии в энергию фотонного потока. Эффективность генерации фотонов оценивают величиной потока ФИ (выходной сигнал данного этапа), отнесенной к затраченной на его генерацию электрической мощности  $P_1$ ,  $\text{мкмоль} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{Вт}^{-1}$ , что эквивалентно отношению количества генерируемых микромолей к мощности (фотонная отдача  $\eta_2$ ),  $\text{мкмоль} \cdot \text{Дж}^{-1}$  [9].

Энергоёмкость данного этапа равна:

$$\varepsilon_2(t) = \frac{1}{\eta_2(t)} = \frac{Q_1(t)}{Q_2(t)} = \frac{Q_1(t)}{\Phi_H(t)T} = \frac{Q_1(t)}{T \int_{4\pi} I_{\alpha} d\omega}. \quad (3)$$

Для нахождения излучаемого потока силу излучения  $I_{\alpha}$  от СД интегрируют по всему пространству ( $4\pi$ ) по зональным углам  $\omega$ .

В зависимости от технологии изготовления совре-

менные СД характеризуются фотонной отдачей  $\eta_2=1,0$ – $2,5$   $\text{мкмоль} \cdot \text{Дж}^{-1}$ . Это дает оценку энергоёмкости данного этапа  $\varepsilon_2=1,0$ – $0,4$   $\text{Дж} \cdot \text{мкмоль}^{-1}$ . Резервом снижения энергоёмкости станет применение более современных СД с повышенной фотонной отдачей.

Третий этап преобразования энергии – излучение фотонного потока облучателем 3. Энергетические потери здесь связаны с оптической частью: в отражателе либо во вторичной оптике (линзах). Выходной сигнал – поток облучателя  $\Phi_0$ .

Энергоёмкость данного этапа равна:

$$\varepsilon_3(t) = \frac{1}{\eta_3(t)} = \frac{Q_2(t)}{Q_3(t)} = \frac{Q_2(t)}{\Phi_0(t)T} = \frac{Q_2(t)}{T \int_{4\pi} I_{\alpha}^n d\omega}. \quad (4)$$

Для нахождения потока облучателя силу излучения  $I_{\alpha}^n$  интегрируют по всему пространству.

КПД оптической части облучателя составляет  $\eta_3=0,8$ – $0,95$  отн. ед. Это дает оценку энергоёмкости данного этапа  $\varepsilon_3=1,05$ – $1,25$  отн. ед. Для ее снижения следует использовать более совершенную оптическую систему облучателя.

На четвертом этапе осуществляется пространственное распределение фотонного потока, моделируемого блоком 4. Энергетические потери на данном этапе происходят из-за того, что часть излученного потока не попадает на облучаемые растения, поглощаясь стенами, проходами и другими элементами культивационного сооружения.

Выходной сигнал данного этапа представляет собой поток ФК, заключенный в пределах телесного угла  $\Omega$ , образованного пространственным конусом, опирающимся на контуры облучаемой поверхности (крону растения).

Энергоёмкость данного этапа равна:

$$\varepsilon_4 = \frac{1}{\eta_4(t)} = \frac{Q_3(t)}{Q_4(t)} = \frac{Q_3(t)}{\Phi_K(t)T} = \frac{Q_3(t)}{T \int_{\Omega} I_{\alpha}^n(t) d\omega}. \quad (5)$$

В зависимости от конструкции облучателя КПД можно оценить в пределах  $\eta_4=0,60$ – $0,95$  отн. ед., что дает оценку энергоёмкости  $\varepsilon_4=1,00$ – $1,67$  отн. ед. Резерв снижения энергоёмкости заложен в совершенствовании светораспределения облучателя.

На пятом этапе преобразования энергии фотонный поток  $E_{x,y}$ , моделируемый блоком 5, распределяется на листовой поверхности. От уровня фотонной облученности непосредственно зависит интенсивность процессов в растении. Энергетические потери на данном этапе связаны с тем, что часть потока проходит сквозь крону растения, не попадая на листья. Выходной сигнал представляет собой поток  $\Phi_L$ , падающий на листовую поверхность и обеспечивающий синтез биомассы.

Энергоёмкость данного этапа равна:

$$\varepsilon_5(t) = \frac{1}{\eta_5(t)} = \frac{Q_4(t)}{Q_5(t)} = \frac{Q_4(t)}{\Phi_L(t)T} = \frac{Q_4(t)}{T \int_S E_{x,y}(t) dS}. \quad (6)$$

В зависимости от компоновочной схемы размеще-

ния растений (на плоской поверхности, вертикальные колонны, сложное в пространстве) образуется различная форма поверхности ценоза. КПД данного этапа можно оценить в пределах  $\eta_5=0,7-0,8$  отн. ед., что дает оценку энергоёмкости  $\varepsilon_5=1,43-1,79$  отн. ед. Снизить энергоёмкость можно путем согласования пространственного распределения потока от излучателя и структуры ценоза.

*Шестой этап* преобразования энергии заключается в формировании продуктов фотосинтеза  $M_K$  (выходной сигнал этапа 6 и всей модели ИБЭСС) из исходного потока вещества  $M_H$  под действием потока энергии  $Q_5$ . С учетом принятых обозначений можно записать суммарную реакцию фотосинтеза:

$M_H(CO_2+H_2O) + Q_5(v) = M_K(\text{биомасса}) + \Delta M(\text{потери вещества}) + \Delta Q(\text{потери энергии}).$

Потери на данном этапе связаны с тем, что из биодоступной радиации часть фотонов теряется из-за неполной абсорбции в ходе переноса по антенным комплексам и далее в процессах преобразования энергии в растениях. Лишь весьма небольшая доля потока идет на чистый прирост биомассы.

Энергоёмкость этого этапа равна:

$$\varepsilon_6(t) = \frac{1}{\eta_6(t)} = \frac{Q_5(t)}{M_K(t)}. \quad (7)$$

Поток биомассы представляет собой функцию основных параметров радиационного режима: облученности, спектрального состава, фотопериода [10].

Продуктивность растений варьирует в зависимости от сочетания параметров радиационного режима в широких пределах. Приняв КПД синтеза зеленой массы  $\eta_6=0,4-0,8 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$ , получаем оценку энергоёмкости  $\varepsilon_5=1,25-2,5 \text{ моль} \cdot \text{г}^{-1}$ . Резервом снижения энергоёмкости будет обеспечение оптимального сочетания параметров радиационного режима.

Энергоёмкость БПЭ:

$$\varepsilon_{БПЭ}(t) = \prod_{i=1}^5 \varepsilon_i(t). \quad (8)$$

Энергоёмкость БПВ:

$$\varepsilon_{БПВ}(t) = \varepsilon_6(t). \quad (9)$$

Общая энергоёмкость ИБЭСС:

$$\varepsilon_C(t) = \varepsilon_6(t) \prod_{i=1}^5 \varepsilon_i(t). \quad (10)$$

С учетом принятых по экспертным данным оценочных значений энергоёмкости на каждом этапе получаем  $\varepsilon_C=0,32-2,27 \text{ МДж} \cdot \text{г}^{-1}$ , то есть минимальные и максимальные значения различаются практически на порядок. Получаемая величина для конкретной реализации технологии светокультуры зависит от выбранных способов реализации каждого этапа преобразования энергии.

Рассмотрим важный момент, который следует учи-

тывать при анализе последовательности этапов различной технической реализации каждого этапа. На рисунке 2 показан пример графа для трех последовательных этапов преобразования энергии.

Пусть на основании анализа существующей технологии на  $i$ -ом этапе существуют три варианта его реализации  $A(1,3)$ ,  $B(1,7)$  и  $C(1,5)$ , на  $i+1$  этапе – четыре варианта  $D(1,9)$ ,  $E(1,1)$ ,  $F(1,6)$  и  $G(1,8)$ , на этапе  $n$  – три варианта  $H(1,8)$ ,  $I(1,5)$  и  $J(1,2)$ . В скобках указаны значения энергоёмкости соответствующих вариантов в относительных единицах. Задача оптимизации заключается в поиске оптимального маршрута прохода на графе, при котором общая энергоёмкость минимальна. В данном примере наиболее оптимально сочетание вариантов  $B-E-J$ . Энергоёмкость при этом равна  $1,7 \cdot 1,1 \cdot 1,2 = 2,24$  отн. ед., что меньше других сочетаний. Этот маршрут следует считать наилучшей доступной технологией для светокультуры.

Численный пример наглядно показывает, что оп-

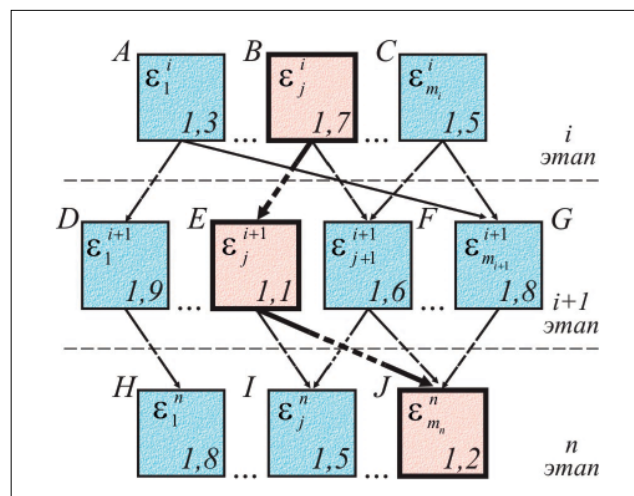


Рис. 2. Граф возможных реализаций этапов с оптимальным маршрутом

Fig. 2. The graph of the possible implementation of the stages with the best route

тимизация не сводится к последовательному выбору на каждом этапе варианта с наименьшим значением энергоёмкости. Так, на первом этапе минимальное значение энергоёмкости наблюдается при выборе варианта  $A$ . Однако при дальнейшем движении по графу на других этапах за этой ветвью следуют элементы, вклад которых в общую энергоёмкость процесса превышает эффект от снижения энергоёмкости на первом этапе.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** Для используемого в эксперименте драйвера измерили электрические параметры, характеризующие энергоёмкость первого этапа преобразования энергии. При сетевом напряжении  $U_H=220 \text{ В}$  потребляемый ток составил  $I_H=0,47 \text{ А}$ . При этом на выходе обеспечивался стабилизированный ток  $I_1=2,92 \text{ А}$  при напряжении  $U_1=29,1 \text{ В}$ . Таким

образом, потребляемая из сети мощность:

$$P_H = I_H U_H = 0,47 \cdot 220 = 103,4 \text{ Вт.}$$

Мощность на выходе драйвера:

$$P_I = I_I U_I = 2,92 \cdot 29,1 = 84,9 \text{ Вт.}$$

Энергия за все время работы облучательной установки на входе и выходе драйвера соответственно равна:

$$Q_H = P_H T = 103,4 \cdot 2,65 \cdot 10^6 = 273,97 \text{ мДж и}$$

$$Q_I = P_I T = 84,9 \cdot 2,65 \cdot 10^6 = 224,95 \text{ мДж.}$$

Путем фотометрирования СД-матрицы выявили, что ее фотометрическое тело представляет собой сферу, касательную к излучающей плоскости, то есть излучатель круглосимметричен. Найдено выражение для кривой силы света:

$$I_a = I_0 \cos \alpha,$$

где  $I_0$  – осевая сила излучения;

$$I_0 = 4,46 \text{ мкмоль} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{ср}^{-1}.$$

Фотонный поток СД-матрицы:

$\Phi_H = \pi I_0 = 3,14 \cdot 20,56 = 64,56 \text{ мкмоль} \cdot \text{с}^{-1}$ . Энергия на выходе второго этапа:

$$Q_2 = \Phi_H T = 64,56 \cdot 2,65 \cdot 10^6 = 171,06 \text{ моль.}$$

Фотометрирование облучателя вместе с линзой позволило найти поток  $\Phi_0 = 57,05 \text{ мкмоль} \cdot \text{с}^{-1}$ . Энергия на выходе третьего этапа:

$$Q_3 = \Phi_0 T = 57,05 \cdot 2,65 \cdot 10^6 = 151,01 \text{ моль.}$$

Для обеспечения нормированной облученности высота подвеса облучателя над растением составляла 0,33 м, диаметр кроны растения – 0,4 м. Поток, падающий на крону растения, заключен в пределах телесного угла, образованного плоским углом  $36^\circ$ , и равен  $\Phi_K = 48,88 \text{ мкмоль} \cdot \text{с}^{-1}$ . Энергия излучения в пределах этого телесного угла за все время работы облучательной установки (выход четвертого этапа) равна:

$$Q_4 = \Phi_K T = 48,88 \cdot 2,65 \cdot 10^6 = 129,51 \text{ моль.}$$

Растение томата к окончанию эксперимента имело девять ярусов оппозиционно расположенных листьев. Структура кроны такова, что часть потока проходит через нее, не попадая на листовую поверхность. Эту часть определяли методом фотограмметрии путем получения цифрового снимка кроны из точки подвеса облучателя и его последующей пороговой обработки, позволяющей разделить области на фотоснимке, принадлежащие листьям растения и фону. Установили поток, падающий на листья,  $\Phi_L = 44,71 \text{ мкмоль} \cdot \text{с}^{-1}$ . Энергия, попавшая на листья растения за все время работы облучательной установки (выход пятого этапа) равна  $Q_5 = \Phi_L T = 44,71 \cdot 2,65 \cdot 10^6 = 118,46 \text{ моль.}$

На выходе светокультуры (после шестого этапа преобразований), при данном сочетании параметров радиационного режима, получили растение томата с сырой массой 73 г.

Численные значения энергии на входах и выходах отдельных этапов, их КПД и энергоёмкость для частного случая светокультуры сведены в *таблицу*.

$$\text{Энергоёмкость БПЭ } \varepsilon_{\text{БПЭ}} = 1,22 \cdot 1,32 \cdot 1,14 \cdot 1,16 \cdot 1,10 = 2,34 \text{ мДж} \cdot \text{моль}^{-1}.$$

$$\text{Энергоёмкость БПВ } \varepsilon_{\text{БПВ}} = 1,61 \text{ моль} \cdot \text{г}^{-1}.$$

| Таблица<br>ЭНЕРГИЯ, КПД И ЭНЕРГОЕМОСТЬ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ<br>ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY INTENSITY IN THE EXPERIMENT |                                                     |                                                     |                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Этап<br>Stage                                                                                                     | Энергия<br>Energy                                   | КПД<br>Efficiency                                   | Энергоёмкость<br>Energy consumption                        |
| 1                                                                                                                 | $Q_H = 273,97 \text{ мДж}$                          | $\eta_1 = 0,82 \text{ отн. ед.}$                    | $\varepsilon_1 = 1,22 \text{ отн. ед.}$                    |
| 2                                                                                                                 | $Q_I = 224,95 \text{ мДж}$                          | $\eta_2 = 0,76 \text{ мкмоль} \cdot \text{Дж}^{-1}$ | $\varepsilon_2 = 1,32 \text{ Дж} \cdot \text{мкмоль}^{-1}$ |
| 3                                                                                                                 | $Q_2 = 171,06 \text{ моль}$                         | $\eta_3 = 0,88 \text{ отн. ед.}$                    | $\varepsilon_3 = 1,14 \text{ отн. ед.}$                    |
| 4                                                                                                                 | $Q_3 = 151,16 \text{ моль}$                         | $\eta_4 = 0,86 \text{ отн. ед.}$                    | $\varepsilon_4 = 1,16 \text{ отн. ед.}$                    |
| 5                                                                                                                 | $Q_4 = 129,51 \text{ моль}$                         | $\eta_5 = 0,91 \text{ отн. ед.}$                    | $\varepsilon_5 = 1,10 \text{ отн. ед.}$                    |
| 6                                                                                                                 | $Q_5 = 118,46 \text{ моль}$<br>$M_k = 73 \text{ г}$ | $\eta_6 = 0,62 \text{ г} \cdot \text{моль}^{-1}$    | $\varepsilon_6 = 1,61 \text{ моль} \cdot \text{г}^{-1}$    |

Общая энергоёмкость ИБЭСС

$$\varepsilon_c = 2,34 \cdot 1,61 = 3,77 \text{ мДж} \cdot \text{г}^{-1}.$$

Анализ полученных данных позволяет в наглядной форме оценить эффективность этапов преобразования энергии в светокультуре. Проще это сделать для этапов, энергоёмкость которых характеризуется относительными единицами. Здесь превышение численного значения энергоёмкости над единицей характеризует потери преобразования. Так, на первом этапе эти потери составляют 22%, на третьем – 14, на четвертом – 16, на пятом – 10%. На втором этапе полученное размерное значение энергоёмкости должно сравниваться с существующими инновационными достижениями ( $1,32 \text{ Дж} \cdot \text{мкмоль}^{-1}$  соответствует слишком малой фотонной отдаче для СД на сегодняшний момент). На шестом этапе выявлены очень большие затраты энергии излучения на синтез биомассы, что позволяет предположить недостаточное соответствие спектральных характеристик источника и других параметров радиационной среды требованиям растений.

### Выводы

Разработанная методика моделирования и анализа энергоэкологичности светокультуры позволила оценить возможности энергосбережения на каждом этапе преобразования энергии и вещества в светокультуре.

Теоретически возможное снижение потерь в источнике электрического питания составляет 22%; в оптической части – 14; при формировании пространственного распределения потока – 16; поверхностного распределения потока – 10%.

Возможность повышения эффективности источника излучения зависит от достигнутого уровня техники, который в настоящее время обеспечивает отдачу не менее 2,5 мкмоль с одного джоуля. Для повышения продуктивности светокультуры необходимо точное согласование параметров светового режима и требований растений.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Хорошенков В.К., Смирнов И.Г., Гончаров Н.Т., Лужнова Е.С. Оптимизация управления технологическими процессами в растениеводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N3. С. 4-11.
2. Михайленко И.М. Математическое моделирование роста растений на основе экспериментальных данных // *Сельскохозяйственная биология*. 2007. N1. С. 103-111.
3. Crouch R., Haines C. Mathematical modeling: Transitions between the real world and the mathematical model. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*. 2004. Vol. 35. 197-206.
4. Mason E.G., Dzierzon H. Application of modeling to vegetation management. *Canadian Journal of Forest Research*. 2006. Vol. 36. 2505-2514.
5. Kosai T. Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light: concept, estimation and application to plant factory. *Proceedings of the Japan Academy. Series B*. 2013. N89(10). 447-461.
6. Попова С.А. Математическое моделирование продуктивности растений как средство повышения эффективности энергосбережения // *Вестник КрасГАУ*. 2010. N7. С. 141-145.
7. Ракутько С.А. Концептуальные основы энергоэкологии светокультуры // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N12(6). С. 38-44.
8. Ракутько С.А., Ракутько Е.Н., Транчук А.С. Применение иерархической модели искусственной биоэнергетической системы для оценки экологичности и энергоэффективности светокультуры // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2015. N40. С. 262-268.
9. Прикупец Л.Б., Камшилов П.В., Зиничева А.С. Светокультура растений. Новый этап в измерениях ФАР, связанный с созданием светодиодных фитооблучателей // *Теплицы России*. 2018. N2. С. 24-28.
10. Thornley J. Mathematical Models in Plant Physiology: A Quantitative Approach to Problems in Plant and Crop Physiology. London: Academic Press. 1976. 318.

## REFERENCES

1. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Khoroshenkov V.K., Smirnov I.G., Goncharov N.T., Luzhnova E.S. Optimizatsiya upravleniya tekhnologicheskimi protsessami v rasteniyevodstve [Control optimization of technological processes in crop production]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. N3. 4-11 (In Russian).
2. Mikhaylenko I.M. Matematicheskoye modelirovanie rosta rasteniy na osnove eksperimental'nykh dannykh [Mathematical modeling of plant growth based on experimental data]. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 2007. N1. 103-111 (In Russian).
3. Crouch R., Haines C. Mathematical modeling: Transitions between the real world and the mathematical model. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*. 2004. Vol. 35. 197-206 (In English).
4. Mason E.G., Dzierzon H. Application of modeling to vegetation management. *Canadian Journal of Forest Research*. 2006. Vol. 36. 2505-2514 (In English).
5. Kosai T. Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light: concept, estimation and application to plant factory. *Proceedings of the Japan Academy. Series B*. 2013. N89(10). 447-461 (In English).
6. Popova S.A. Matematicheskoye modelirovanie produktivnosti rasteniy kak sredstvo povysheniya effektivnosti energosberezheniya [Mathematical modeling of plant productivity as a means of increasing energy efficiency]. *Vestnik KrasGAU*. 2010. N7. 141-145 (In Russian).
7. Rakut'ko S.A. Kontseptual'nye osnovy energoekologii svetokul'tury [Conceptual foundations of energy-and-ecological assessment of indoor plant lighting]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. N12(6). 38-44 (In Russian).
8. Rakut'ko S.A., Rakut'ko E.N., Tranchuk A.S. Primenenie iyerarkhicheskoy modeli iskusstvennoy bioenergeticheskoy sistemy dlya otsenki ekologichnosti i energoeffektivnosti svetokul'tury [Application of a hierarchical model of an artificial bioenergy system for assessing the energy-and-ecological efficiency of indoor plant lighting]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015. N40. 262-268 (In Russian).
9. Prikupets L.B., Kamshilov P.V., Zinicheva A.S. Svetokul'tura rasteniy. Noviy etap v izmereniyakh FAR, svyazanny s sozdaniem svetodiodnykh fitoobluchateley [Indoor plant lighting. A new stage in the FAR measurements associated with the development of LED phytoradiation]. *Teplitsy Rossii*. 2018. N2. 24-28 (In Russian).
10. Thornley J. Mathematical Models in Plant Physiology: A Quantitative Approach to Problems in Plant and Crop Physiology. London: Academic Press. 1976. 318 (In English).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Статья поступила в редакцию 19.03.2019**  
**The paper was submitted**  
**to the Editorial Office on 19.03.2019**

**Статья принята к публикации 26.06.2019**  
**The paper was accepted**  
**for publication on 26.06.2019**

## Инженерно-экологическое обеспечение борьбы с сорной растительностью

Андрей Викторович Шинделов<sup>1</sup>,  
кандидат технических наук, доцент,  
e-mail: andrej@nsau.edu.ru;

Николай Михайлович Иванов<sup>2</sup>,  
доктор технических наук, профессор

<sup>1</sup>Новосибирский государственный аграрный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация;

<sup>2</sup>Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, р.п. Краснообск, Новосибирская область, Российская Федерация

**Реферат.** Чем лучше выполнены полевые операции, тем ниже засоренность посевов, а значит, требуется меньше химических средств защиты, что положительно отражается на плодородии почв, качестве урожая и экологической обстановке в целом. (*Цель исследования*) Изучить кругооборот сорняков в машинных агротехнологиях производства зерновых и предложить способы уменьшения засоренности на всех этапах возделывания с учетом благоприятного экологического отклика агрофона. (*Материалы и методы*) Раскрыли основополагающие критерии выполнения полевых операций на основе многофакторной модели возделывания сельскохозяйственных культур: снижение засоренности, уменьшение участков переуплотнения почвы и повторной обработки, экологический отклик. Продемонстрировали кругооборот сорняков в традиционных технологиях производства зерновых культур. Выявили динамику развития сорняков и их распространения в агрофоне. (*Результаты и обсуждение*) Провели контроль семян сорных растений на посевах яровой пшеницы в производственных условиях в течение уборочных сезонов 2016 и 2017 годов. Обнаружили опытным путем в выделенных продуктах обмолота повышенное содержание семян просовидных сорняков, масса которых варьировалась от 5 до 16 граммов на квадратный метр. Удельный вес семян сорняков в бункерном зерне составлял 2,9 процента. Выявили, что семена сорных растений, выделенные комбайном, сохраняют всхожесть после осенних обработок почвы. Поперечная почвообработка увеличивает область засоренности в 2 раза и более. Предложили комплексную систему борьбы с сорной растительностью на всех этапах полевых работ с учетом экологического отклика агрофона. Показали, что особое значение имеет отделение и уничтожение семян сорняков на этапе уборки урожая. Представили технико-технологические решения снижения сорной растительности, обеспечения благоприятной экологической обстановки. (*Выводы*) Выстроили комплексную систему снижения засоренности. Сократили общую нагрузку от действия средств защиты растений на 30 процентов.

**Ключевые слова:** снижение сорной растительности, химическая прополка, полевые операции, зерноуборочный комбайн, отделение и травмирование семян сорняков, экологический отклик агроценоза.

■ **Для цитирования:** Шинделов А.В., Иванов Н.М. Инженерно-экологическое обеспечение борьбы с сорной растительностью // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №3. С. 18-23. DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-3-18-23.

## Engineering and Environmental Support for Weed Control

Andrey V. Shindelov<sup>1</sup>,  
Ph.D.(Eng.), associate professor;

Nikolay M. Ivanov<sup>2</sup>,  
Dr.Sc.(Eng.), professor

<sup>1</sup>Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russian Federation;

<sup>2</sup>Siberian Federal Scientific Centre of Agro-Bio Technologies at the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, Russian Federation

**Abstract.** Better field operations are performed result in lower weed contamination of crops, which means less chemical protection is required. This makes a positive effect on soil fertility, crop quality and the ecological situation in general. (*Research purpose*) To study weed circulation in mechanized farm technologies for cereal production and propose ways of reducing the weed content at all stages of cultivation, taking into account the favorable environmental response of the agricultural background. (*Materials and methods*) The authors have revealed the fundamental criteria for the implementation of field operations based on a multifactorial model of crop cultivation: reduction of the weed content, reduction of soil compaction sites and re-processing, and environmental

response. They have demonstrated weed circulation in traditional cereal production technologies, identified the development dynamics of weeds and their distribution in the agricultural background. (*Results and discussion*) The authors controlled weed seeds on spring wheat fields under production conditions during the harvest seasons of 2016 and 2017. They experimentally found an increased content of miliary weed seeds in the selected threshing products, the mass of which ranged from 5 to 16 grams per  $m^2$ . The share of weed seeds in grain hopper amounted to 2.9 percent. It was revealed that weed seeds isolated by a combine remain viable after autumn tillage. Transverse tillage increases the area of contamination in 2 times or more. The authors propose a comprehensive system of weed control at all stages of field operations, taking into account the environmental response of the agricultural background. It is shown that the separation and destruction of weed seeds at the harvest stage is of particular importance. The authors present technical and technological solutions to reduce weeds and ensure a favorable ecological situation. (*Conclusions*) The authors have designed a comprehensive system to reduce weed contamination, thus reducing the overall impact of plant protection remedies by 30 percent.

**Keywords:** weeds, application of plant protection means, field operations, harvester-thresher, separation and breaches in weed seeds, environmental response.

**For citation:** Shindelov A.V., Ivanov N.M. Inzhenerno-ekologicheskoe obespechenie bor'by s sornoy rastitel'nost'yu [Engineering and environmental support for weed control]. *Selskokhosyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N3. 18-23 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-3-18-23.

**Ч**ем лучше выполнены полевые операции, тем ниже засоренность посевов, а значит, требуется меньше химических средств защиты, что положительно отражается на плодородии почв, качестве урожая и экологической обстановке в целом.

Согласно результатам последних исследований и расчетам научных учреждений потери урожая сельскохозяйственных культур от сорняков достигают 50%. Большой вред сорные растения причиняют в семеноводстве сельскохозяйственных культур (особенно многолетних трав). Наличие в семенах культурных растений сопутствующих сорняков вызывает необходимость проводить многократные очистки их в семяочистительных машинах, которые приводят к потере до 30% выращенного урожая. Урожайность большинства культур снижается из-за низкой всхожести культурных растений на засоренных территориях.

В Новосибирской области засорены более 60% посевов. Площади, пораженные сорняками в сильной и средней степени (10 шт. на  $1 m^2$  и более), превышают 1 млн га. Анализ засоренности посевов пшеницы в Кемеровской области показал, что, несмотря на постоянные химические прополки, неизменной остается засоренность яровыми сорняками (до 50%) и корнеотпрысковыми. В Кемеровской области из года в год возрастает площадь гербицидной обработки. Так, в 1989 г. она составляла 44 тыс. га (32% посевных площадей пшеницы), а с 2005 г. обрабатывают 343,4 тыс. га (99%) При этом гербициды несут в себе потенциальную опасность для нецелевых объектов [1]. В другой климатической зоне, например в Оренбургской области, сильная и средняя степень засоренности достигает 39% от общей площади, пораженной сорной растительностью. Основными причинами сильной засоренности остаются несоблюдение севооборота, минимизация обработки почвы, нерациональность гербицидных обработок в предыдущие годы [2]. В Свердлов-

ловской области в 2015 г. на 326,774 тыс. га выявили превышение экономического порога вредоносности. По данным обследований, засоренность посевов характеризуется главным образом средней и сильной степенью [1, 3]. Подобная ситуация складывается и в других областях.

**Цель исследования** – изучить кругооборот сорняков в машинных агротехнологиях производства зерновых и предложить способы уменьшения засоренности на всех этапах их возделывания с учетом благоприятного экологического отклика агрофона.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** Исследования проводили в северной лесостепи Приобья на посевах яровой пшеницы УОХ «Практик» Новосибирского ГАУ (рис. 1). Контроль семян сорных растений выполнили на посевах яровой пшеницы в производственных условиях в течение уборочных сезонов 2016 и 2017 гг. Провели по 3 замера на 6 проходах зерноуборочных комбайнов. При устойчивой работе молотильно-сепарирующей системы (МСУ) мерная площадка площадью  $0,5 m^2$  соответствовала площади между передними и задними колесами комбайна. После прохода комбайна подсчитывали:

- количество семян сорных растений, выделенных из МСУ на поверхность поля;
- количество семян сорных растений, прошедших



Рис. 1. Закладка опытной площадки и выделение продуктов обмолота

Fig. 1. Laying out an experimental site and analyzing threshing products

МСУ и оказавшихся в бункере;

- потери урожая.

В производственном опыте на полях высевали яровую пшеницу сорта Новосибирская 29. Срок посева – последние числа мая, норма высева – 270 кг/га. Предшественник – однолетние травы. В конце июня посев обработали баковой смесью дианата (дикамба, ВР, д.в. – диметиламинная соль; норма – 0,15 л/га). В опытах задействовали зерноуборочные комбайны «Полесье GS 812» и *Acros 585*.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** Практика и литературные источники указывают на высокую, порой прогрессирующую засоренность растительных массивов в различных регионах [1-3].

Рассмотрим полевые операции (почвообработку, посев, обработку против болезней и вредителей, уборку) как отдельные этапы выращивания зерновых в целостной технологической системе в виде распределенных блоков и с изложением их составляющих. Каждый блок, соответствующий какой-либо полевой операции, определяется как система с распределенными параметрами. Такой методологический подход учитывает всю совокупность технических средств, участвующих в возделывании зерновых на разных этапах (уровнях подсистем) технологии, использует их общую технико-технологическую направленность на сохранение экологической обстановки и снижение сорной растительности (рис. 2). Анализируя схему, видим, что на исходные настройки каждой полевой операции влияет текущее состояние сорной растительности  $Y$ , а также наличие и величина зон повторной обработки  $P$ , возникающих вследствие перекрытия смежных проходов агрегата. Зачастую это происходит при объезде естественных и искусственных препятствий (колка, опоры линии электропередачи, гидранта и прочих) и выражается в переуплотнении почвы и повышенном внесении ядохимикатов на ограниченном пространстве, что нарушает естественные физиологические процессы в агроценозе [1, 4-6].

В процессе почвообработки под воздействием МТА при смещении проходов почва приобретает повышенное уплотнение (рис. 2). Участки с повторной обработкой  $P_1$ , огрехи в обработке и нерациональные настройки почвообрабатывающих орудий предопределяют уровень засоренности  $Y_1$  [6, 7].

В процессе посева уплотнение почвы дополнительно увеличивается за счет действия посевных агрегатов. Площадь повторно обработанных участков достигает уровня  $P_2$  из-за наложения проходов агрегата друг на друга, особенно в местах объезда препятствий, тем самым создаются зоны многократного посева. Засоренность претерпевает изменения, с одной стороны, вследствие механического уничтожения сорняков рабочими органами посевной машины, с другой стороны, в результате огрехов и пониженной нормы высева, что дает возможность естественного до-

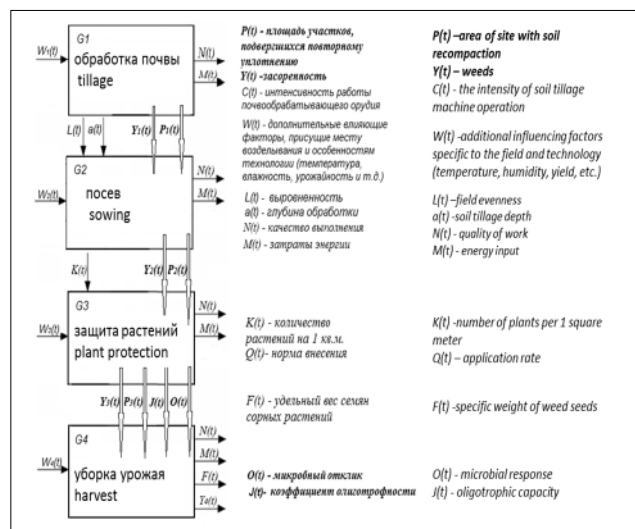


Рис. 2. Количественные и качественные показатели выполнения полевых операций

Fig.2. Quantitative and qualitative indicators of field operations

минирования сорняков над полезной культурой. Уровень засоренности приобретает значение  $Y_2$ .

Внесение средств защиты еще больше уплотняет почву из-за давления движителей опрыскивателей. Возникают площади перекрытия соседних проходов опрыскивателя на уровне  $P_3$ , а засоренность растительного массива претерпевает изменения, как правило, в сторону уменьшения до уровня  $Y_3$ . Действие химических препаратов обуславливает реакцию агрофона, выраженную через микробный отклик  $O(t)$  и олиготрофность  $J(t)$ . Особо негативные последствия, проявляющиеся в чрезмерном длительном угнетении физиологических процессов и микробиоты в почве, наблюдаются в зонах повторной обработки [1, 4, 8]. В период уборки помимо зерноуборочных комбайнов вступают в работу технические средства для сбора, перегрузки и транспортировки зерновой и незерновой частей урожая. Поэтому уплотнение почвы существенно возрастает до уровня  $P_4$ , а видимая засоренность  $Y_4$  трансформируется в количество оставшихся на поле сорняков, их семян, выделенных из зерноуборочного комбайна и способных к прорастанию [8].

При почвообработке, посеве, внесении средств защиты растений, уборке изменяются количественные и качественные показатели сорной растительности и величины зон повторной обработки. Некорректное реагирование на эти изменения лишь усугубляет их. Поэтому текущее состояние сорной растительности определяем, используя объективные целевые индикаторы, которые отражают влияние качества выполненной операции на исходные настройки по выполнению последующей операции, а на этапе внесения средств защиты растений ориентируемся на экологический отклик агроценоза (рис. 3).

Превышение норм внесения химических средств защиты растений сохраняетотягчающий характер

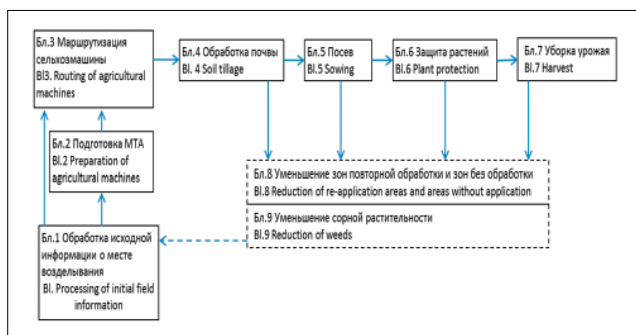


Рис. 3. Элементы технологии возделывания зерновых  
Fig. 3. Elements of the grain cultivation technology

продолжительное время и ухудшает плодородие почвы в целом. Поэтому комплексный алгоритм реализации полевых элементов технологий возделывания целесообразно строить на текущих параметрах сорной растительности и на экологическом отклике агроценоза (рис. 4). При почвообработке, чтобы сократить число сорняков, увеличиваем интенсивность работы почвообрабатывающих органов. Например, можно регулировать частоту вращения катков, которые выделяют сорные растения на поверхность поля. Дополнительно изменяем уровень воздействия на обрабатываемый слой, регулируя подпорную пластину под катками. При этом меняется степень разрушения почвенных комьев и, как следствие, эффективность выделения сорных растений. Причем дифференцированная обработка почвы с переменной интенсивностью работы рабочих органов способствует долгосрочной защите почвы.

При посеве для доминирования над сорной растительностью увеличивают норму высева до максимального уровня, исходя из потенциала питательных веществ участка. Избегают повторных объездов препятствий для исключения пересева [4, 8, 9].

Внесение средств защиты регламентируют по экологическому отклику с целью обеспечения устойчивых физиологических процессов в почве, которые могут выражаться в снижении микробиологической активности и замедлении трансформационных процессов [10]. При данной опасности норму приводят к минимальному значению.

В борьбе с сорной растительностью на фоне уменьшения применения химических средств объективно встает задача отделения и уничтожения семян сорных растений на этапе уборки с целью недопущения их последующего прорастания. Последовательный контроль и управление сорной растительностью на всех этапах возделывания снижают уровень применения химических средств защиты растений, позволяют раздробленные сорняки направлять в качестве органического удобрения на поле. Тем самым замыкается логическая цепь борьбы с сорными растениями на основных этапах технологии выращивания сельскохозяйственных культур:

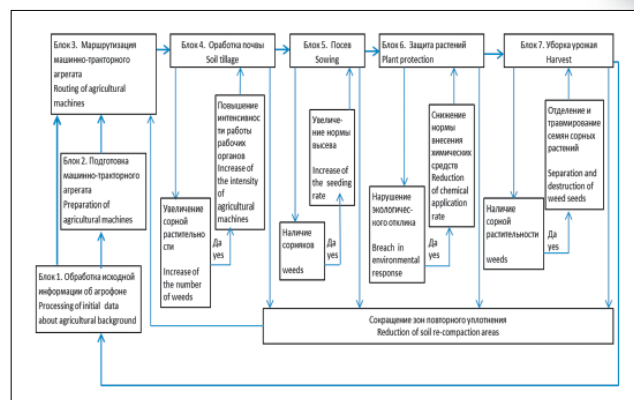


Рис. 4. Построение технологии возделывания зерновых  
Fig. 4. Designing the technology of crop cultivation

- при почвообработке разрушают почвенные комья и выделяют сорняки на поверхность поля;
- при посеве стимулируют естественное угнетение сорняков доминированием полезных растений;
- обработку средствами защиты растений выполняют с учетом экологического отклика агроценоза;
- при уборке урожая семена сорняков отделяют и подвергают механическому травмированию с целью исключения их прорастания.

Разработанное технико-технологическое решение защищено патентом на изобретение «Способ возделывания сельскохозяйственных культур» (Пат. 2637521Р МПК А01В79/00). Полевые наблюдения 2016-2017 гг. выявили пространственное распределение сорной растительности. Причем ее очаги формируются сплошным массивом (рис. 5).

При обработке гербицидами можно явно выделить точки переключения настроек опрыскивателя, а также выстроить модель его рациональных проходов. На опытных полях количество сорных растений на 1 м<sup>2</sup> варьировалось от 60 до 80 шт. Одна из причин, согласно нашим наблюдениям, заключается в выделении зерноуборочным комбайном семян сорных растений, которые сохраняют свою целостность и способность к прорастанию (рис. 6а).

На опытной площадке наглядно представлено количественное доминирование семян просовидных сорняков. Масса выделенных на поле семян сорняков составляла 5-18 г/м<sup>2</sup>. Большинство из них сохраняют всхожесть и прорастают по маршруту движения уборочной машины (рис. 6).

Общие потери урожая за МСУ достигали 8,3%. Одна из причин – стремление комбайнеров максимально отделить примеси от зерна. Средняя масса семян сорняков в пробах бункерного зерна составляла 2,9% от намолота, то есть 5,15 г/м<sup>2</sup>. Обычно осенью сроки почвообрабатывающих работ растягиваются, что не позволяет в полной мере уничтожить сорняки, большинство из которых сохраняют свою жизнеспособность (рис. 7). Как видим, лента всходов сорняков намного шире валка незерновой массы, выделяемого

из зерноуборочного комбайна. Почвообработка поперек движения зерноуборочных комбайнов увеличивает ширину полосы со всходами сорняков в 2 раза и более, зачастую образуя устойчивые ареалы сплошной засоренности. Объективна необходимость отделения и уничтожения сорняков на этапе уборки. Для эффективной обработки почвы и выделения сорняков на поверхность поля разработаны комбинированные почвообрабатывающие агрегаты. Они снабжены катками с редуктором, регулирующим частоту их вращения, и подпорной пластиной, позволяющей подобрать степень воздействия агрегата на обрабатываемый почвенный слой [4, 6, 10].



Рис. 5. Распределение сорняков в растительном массиве  
Fig. 5. Location of weeds in the vegetation

Для уменьшения, а порой и полного отказа от химических средств наиболее эффективны отделение и уничтожение семян сорных растений на всех этапах возделывания растений, и особенно уборки. С этой целью предложена логическая совокупность технологических и технических решений, направленных на снижение засоренности растительных массивов и урожая, новизна и уникальность которых подтверждена патентами на изобретения:

- способ возделывания сельскохозяйственных культур, направленный на выполнение полевых операций с сокращением текущей засоренности и учетом экологического отклика агрофона (патент 2637521 РФ, МПК А01В79/00). На каждом этапе измеряют и максимально снижают имеющуюся и контролируют оставшуюся засоренность. Для этого регулируют интенсивность работы почвообрабатывающих органов до максимально возможного уничтожения сорняков. При посеве регламентируют норму внесения с учетом естественной борьбы культуры и сорняков. Норму внесения средств защиты устанавливают исходя из уровня засоренности. Дополнительно определяют экологический отклик агроценоза, выраженный в предельно допустимых уровнях подавления микробиоты и повышения олиготрофности почвы, и согласно ему корректируют норму внесения средств защиты растений;

- способ уборки зерновых культур и машина для его осуществления, обеспечивающие выделение из зернового вороха семян сорных растений и их травмирование во избежание прорастания, что снижает засоренность убранных полей. Данное решение подразумевает установку дополнительного решета для выделения семян сорняков, которые будут направлены на дробление специальным барабаном и выгруже-



Рис. 6. Семена сорняков среди продуктов обмолота, выделенных комбайном на поверхность поля (а) и их всходы (b)  
Fig. 6. Threshing products separated by combine on the field surface (a) and their shoots (b)



Рис. 7. Засоренность поля после почвообработки  
Fig. 7. location of the weeds in the field after tillage

ны на поле в раздробленном виде в качестве удобрения;

- способ уборки зерновых культур и зерноуборочная машина для его осуществления, обеспечивающие выделение из зернового вороха легковесных примесей и семян сорных растений с помощью направленных воздушных потоков замкнутого цикла и аспирационной камеры, что снижает засоренность убранных полей сорняками и окружающей среды пылью из легковесных примесей (патент 2659244РФ, МПК А01Д 91/04; А01Д 41/02).

### Выводы

1. Выделение зерноуборочным комбайном семян просовидных сорняков, способных к прорастанию, составляет более  $5 \text{ г/м}^2$ , что обуславливает значительную последующую засоренность массивов. Удельный вес семян сорняков в бункерном зерне составляет в среднем 2,9%.

2. Почвообработка поперек движения зерноуборочных комбайнов увеличивает ширину полосы со всходами сорняков в 2 раза и более, зачастую образуя устойчивые ареалы сплошной засоренности.

3. Обосновали основные критерии характеристики технологии возделывания сельхозкультур: текущая засоренность и экологический отклик агроценоза, выраженный через коэффициент олиготрофности и микробиологической активности агрофона.

4. Комплексная система снижения засоренности выстроена на отслеживании фактического состояния засоренности на всех этапах возделывания, а на этапе химической прополки дополнительно принят в учет экологический отклик агроценоза, что позволило сократить общую нагрузку от действия средств защиты растений на 30% и более.

5. Предложили эффективный прием снижения засоренности агрофона: отделение и травмирование семян сорных растений для исключения их последующего прорастания на этапе обмолота зерноуборочным комбайном.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванов Н.М., Чепурин Г.Е. Научно-техническое обеспечение аграрного комплекса Сибири // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2014. N5. С. 93-100.
2. Шинделов А.В., Коробова Л.Н., Танатова А.В., Ферাপонтова С.А. Научно-методические рекомендации по использованию микробиологических показателей для оценки состояния пахотных почв Сибири. Новосибирск: ВПО НГАУ. 2013. 37 с.
3. Литвишко В.С. Экологизация средств защиты растений // *Естественные и технические науки*. 2018. N2(116). С. 53-54.
4. Иванов Н.М., Колинко В.П., Кудашкин П.И., Голиков В.Р. Почвообрабатывающие машины для борьбы с сорной растительностью // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2013. Т. 7. N2. С. 24-26.
5. Шинделов А.В., Коробова Л.Н., Шинделов А.В., Танатова А.В. Модели маршрутизации и навигация опрыскивающей техники как фактор коррегирирования биологических свойств почвы // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2015. N5(127). С. 65-70.
6. Иванов Н.М., Докин Б.Д., Ёлкин О.В., Чекусов М.С. Аль-

тернативные варианты технологий и технических средств для производства зерна в условиях Сибири // *Достижения науки и техники в АПК*. 2015. N1. С. 49-51.

7. Терпигорев А.А., Гжибовский С.А., Грушин А.В. Технологии и технические средства для защиты растений в термически напряженные периоды // *Плодоводство и ягодоводство России*. 2017. Т. 51. С. 327-332.

8. Иванов Н.М., Чепурин Г.Е. Обоснование разработки технологического паспорта зерноуборочных комбайнов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2016. Т. 10. N4. С. 25-31.

9. Шинделов А.В. К моделированию оптимальных траекторий движения полевой машины // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2009. N11. С. 98-106.

10. Абдулгалимов М.М., Магомедов Ф.М., Сенькевич С.Е., Умаров Р.Д., Меликов И.М. Совершенствование технологии и средств механизации для борьбы с сорной растительностью // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. Т. 11. N5. С. 38-42.

## REFERENCES

1. Ivanov N.M., Chepurin G.E. Nauchno-tekhnicheskoye obespecheniye agrarnogo kompleksa Sibiri [Scientific and technical support of the farm industry of Siberia]. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 2014. N5. 93-100 (In Russian).
2. Shindelov A.V., Korobova L.N., Tanatova A.V., Ferapontova S.A. Nauchno-metodicheskiye rekomendatsii po ispol'zovaniyu mikrobiologicheskikh pokazateley dlya otsenki sostoyaniya pakhotnykh pochv Sibiri [Scientific and methodological recommendations on the use of microbiological indicators for assessing the condition of arable soil in Siberia]. Novosibirsk: VPO NGAU. 2013. 37 (In Russian).
3. Litvishko V.S. Ekologizatsiya sredstv zashchity rasteniy [Ecologization of plant protection products]. *Yestestvennye i tekhnicheskiye nauki*. 2018. N2(116). 53-54 (In Russian).
4. Ivanov N.M., Kolinko V.P., Kudashkin P.I., Golikov V.R. Pochvoobrabatyvayushchiye mashiny dlya bor'by s sornoy rastitel'nost'yu [Tillage machines for weed control]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2013. Vol. 7. N2. 24-26 (In Russian).
5. Shindelov A.V., Korobova L.N., Shindelov A.V., Tanatova A.V. Modeli marshrutizatsii i navigatsiya opryskivayushchey tekhniki kak faktor korregirovaniya biologicheskikh svoystv pochvy [Routing models and spray navigation techniques as a factor of correcting the biological soil properties]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015. N5(127). 65-70 (In Russian).

6. Ivanov N.M., Dokin B.D., Elkin O.V., Chekusov M.S. Al'ternativnye varianty tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv dlya proizvodstva zerna v usloviyakh Sibiri [Alternative technologies and technical means for grain production in Siberia]. *Dostizheniya nauki i tekhniki v APK*. 2015. N1. 49-51 (In Russian).

7. Terpigorev A.A., Gzhibovskiy S.A., Grushin A.V. Tekhnologii i tekhnicheskiye sredstva dlya zashchity rasteniy v termicheski napryazhennyye periody [Technologies and technical means for plant protection in thermally intense periods]. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii*. 2017. Vol. 51. 327-332 (In Russian).

8. Ivanov N.M., Chepurin G.E. Obosnovaniye razrabotki tekhnologicheskogo pasporta zernouborochnykh kombaynov [Grounds for the development of technological passport for combine harvesters]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2016. Vol. 10. N4. 25-31 (In Russian).

9. Shindelov A.V. K modelirovaniyu optimal'nykh trayektoriy dvizheniya polevoy mashiny [Modeling the optimal trajectories of the field machine movement]. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 2009. N11. 98-106 (In Russian).

10. Abdugaliyev M.M., Magomedov F.M., Sen'kevich S.Ye., Umarov R.D., Melikov I.M. Sovershenstvovaniye tekhnologii i sredstv mekhanizatsii dlya bor'by s sornoy rastitel'nost'yu [Improvement of technology and mechanization means for weed control]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2017. Vol. 11. N5. 38-42 (In Russian).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Статья поступила в редакцию 04.01.2019**  
**The paper was submitted**  
**to the Editorial Office on 04.01.2019**

**Статья принята к публикации 12.04.2019**  
**The paper was accepted**  
**for publication on 12.04.2019**

## Выбор системы рециклинга навоза для молочной фермы с привязным содержанием

Роман Алексеевич Уваров,

кандидат технических наук, научный сотрудник,

e-mail: rauvarov@yandex.ru

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, Санкт-Петербург, Российская Федерация

**Реферат.** Разработка и апробация новых эффективных и экологически безопасных технологий утилизации отходов представляет собой приоритетную задачу агроэкологии и рационального природопользования. Одна из таких технологий – переработка навоза крупного рогатого скота в подстилку для животных. (*Цель исследования*) Экономически обосновать применение различных вариантов технологии производства подстилки из навоза в условиях функционирующего животноводческого предприятия. (*Материалы и методы*) На примере молочной животноводческой фермы с поголовьем 100 коров дойного стада рассмотрели три варианта реализации данной технологии: I – разделение навоза на фракции с последующей аэробной ферментацией твердой фракции навоза в установках барабанного типа; II – смешивание несепакированного навоза с торфом и последующая аэробная ферментация в установках барабанного типа; III – смешивание несепакированного навоза с торфом и последующая аэробная ферментация в установках камерного типа. Сравнили капитальные, эксплуатационные и трудовые затраты, а также срок окупаемости. (*Результаты и обсуждение*) Определили комплекс необходимых сооружений и оборудования для переработки навоза и хранения полученного продукта для всех вариантов. Провели экономическую оценку указанных вариантов. Показали, что для варианта I капитальные затраты на внедрение составили 18,2 миллиона рублей, эксплуатационные – 8,9 миллиона рублей, трудозатраты – 5,1 человеко-часа на тонну, срок окупаемости – 2,1 года. Выявили, что вариантам II и III соответствовали высокие затраты, то есть производство подстилки с добавлением торфа оказалось убыточным. (*Выводы*) Определили наиболее эффективный и экономически обоснованный вариант технологии переработки навоза: разделение его на фракции, аэробная ферментация твердой фракции в установках барабанного типа и длительное выдерживание жидкой фракции в навозохранилище. Варианты II и III экономически нецелесообразны.

**Ключевые слова:** рециклинг навоза, молочная ферма, подстилка, аэробная ферментация, экономическая эффективность.

■ **Для цитирования:** Уваров Р.А. Выбор системы рециклинга навоза для молочной фермы с привязным содержанием // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №3. С. 24-29. DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-3-24-29.

## Choosing a Manure Recycling System for a Dairy Farm with Tied Housing

Roman A. Uvarov,

Ph.D.(Eng.), research engineer

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – Branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Saint Petersburg, Russian Federation

**Abstract.** Development and testing of new more efficient and environmentally friendly waste management technologies is one of the priorities of agroecology aimed at introducing the basic principles of the sustainable use of natural resources. An example of such a technology may be the recycling of cattle manure into the bedding for farm animals. (*Research purpose*) Feasibility study of different technological options for the production of bedding from manure under conditions of an operating livestock enterprise. (*Materials and methods*) In the study, three options of this technology were considered as exemplified by a dairy farm for 100 milking cows: Option 1 – separation of manure into fractions followed by aerobic fermentation of the solid manure fraction in a drum-type fermentor; Option 2 – mixing the unprocessed manure with peat and its subsequent aerobic fermentation in a drum-type fermentor; Option 3 – mixing the unprocessed manure with peat and its subsequent aerobic fermentation in a chamber-type fermentor. The author has estimated capital and operation costs as well as labour inputs and payback period. (*Results and*



*discussion*) The number of facilities and equipment required for manure recycling and the resulting product storage has been calculated for each option. The author has made an economic assessment of the three options. For Option 1, the capital costs of implementation amount to 18.2 million roubles, operating costs – 8.9 million roubles, labour inputs – 5.1 man-hour per tonne, and the payback period – 2.1 years. It has been revealed that options 2 and 3 feature high capital costs, therefore, bedding production with the use of peat proved to be inefficient. (*Conclusions*) The study has allowed to determine the most efficient and economically feasible technological method of manure recycling: manure separation into fractions with subsequent aerobic fermentation of the solid fraction in a drum-type fermentor. Options 2 and 3 have been found economically unfeasible.

**Keywords:** manure recycling, dairy farm, bedding, aerobic fermentation, economic efficiency.

**For citation:** Uvarov R.A. Vybor sistemy retsiklinga navoza dlya molochnoi fermy s privyaznym soderzhaniem [Choosing a Manure Recycling System for a Dairy Farm with Tied Housing]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N3. 24-29 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-3-24-29.

**И**нтенсификация сельского хозяйства, внедрение наилучших доступных технологий, переход на новые технологии содержания животных – все это повышает объемы производства не только основной продукции сельхозпредприятий (молока, мяса, яиц, поголовья животных и птицы), но и сопутствующего вторичного сырья – навоза и помета [1].

Многие животноводческие предприятия не имеют собственных земельных угодий сельскохозяйственного назначения, достаточных для внесения обильного навоза, поэтому вынуждены искать новые, более эффективные способы его переработки и применения. Один из таких способов – производство подстилки для животных на основе навоза. Данная технология впервые была апробирована полвека назад в засушливых западных районах США. Ввиду высокого риска бактериальной нагрузки на животных в технологию включили дополнительные стадии обработки, направленные на снижение количества патогенов в конечном продукте путем повышения температуры [2]. В последние несколько лет эта технология все шире распространяется и в других странах [3-5].

Указанный способ переработки навоза позволяет повысить рентабельность предприятия в результате снижения затрат на внесение переработанного навоза и закупку материала для подстилки.

Различают два способа производства подстилки из навоза:

- разделение навоза на фракции с последующей аэробной ферментацией твердой фракции [6];
- смешивание навоза и влагопоглотителя с последующим компостированием [7].

**Цель исследования** – экономически обосновать применение различных вариантов технологии производства подстилки из навоза крупного рогатого скота (КРС) в условиях функционирующего животноводческого предприятия.

**Материалы и методы.** В качестве рассматриваемого предприятия выбрана молочная ферма на 100 голов дойного стада привязного содержания [8]. В течение года она дает около 800 т молока, 18 т мяса в живом весе и 16 сверхремонтных нетелей. Предпри-

ятие располагает собственными земельными угодьями в размере 100 га, расположенными в радиусе до 20 км от фермы, на которых выращивают яровые и озимые злаковые. На предприятии применяют привязную систему содержания животных. Годовая потребность предприятия в подстилке составляет 36,5 т. При расчете выбран наиболее близкий по органолептическим и физико-химическим свойствам к переработанной твердой фракции навоза материал – торф (в соответствии с методическими рекомендациями РД-АПК 1.10.01.01-18, Росинформагротех, 2018).

В качестве вариантов технологий переработки рассмотрены:

- разделение навоза на фракции с последующей аэробной ферментацией твердой фракции навоза в установках барабанного типа;
- смешивание цельного навоза с торфом и последующая аэробная ферментация в установках барабанного типа;
- смешивание цельного навоза с торфом и последующая аэробная ферментация в установках камерного типа.

Суточный и годовой выход навоза рассчитали при помощи разработанной методики, апробированной на 20 животноводческих и птицеводческих предприятиях [8].

Суточная производительность биоферментационных установок обусловлена их типоразмерным рядом, сформированным с учетом гарантированного обеззараживания материала [9-12].

Выполняя расчеты, предположили, что протекание процесса аэробной ферментации в твердой фракции навоза КРС и смеси навоза КРС с торфом не требует добавления иных компонентов [13]. Для расчета экономической эффективности рассматриваемых вариантов технологии применили регламентированную методику определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники (ГОСТ Р 53056-2008. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки). Стоимостные характеристики объектов и технических средств утилизации навоза актуальны на декабрь 2018 г.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** При привязном способе содержания средняя влажность навоза в исходном состоянии составляет 88% (по данным РД-АПК 1.10.15.02-17, Росинформагротех, 2018). Выход навоза для фермы с рассматриваемым поголовьем составляет 9,7 т/сут (3540,5 т/год).

*Вариант I. Разделение навоза на фракции с последующей аэробной ферментацией твердой фракции навоза в установках барабанного типа.*

Использование механических сепараторов позволяет добиться снижения влажности твердой фракции в среднем до 68%, что близко к оптимальным значениям для протекания процесса аэробной ферментации. Количество продуктов, получаемое при привязном способе содержания животных:

- выход твердой фракции навоза – 2546 кг/сут (3,9 м<sup>3</sup>/сут);
- влажность после сепарации – 68%;
- количество сухого вещества в навозе – 1164 кг;
- количество сухого вещества в твердой фракции 814,8 кг;
- необходимая производительность биоферментатора с учетом типоразмерного ряда – 3 т/сут.

Использование переработанного навоза в качестве подстилки требует соблюдения правил безопасности для животных. Экспериментально установлено, что гарантированное обеззараживание от патогенной микрофлоры и паразитов наступает по истечении 120 ч (5 сут) с момента начала ферментации при запуске процесса и при 96 ч (4 сут) – при потоковом режиме ферментации [13]. С учетом регламентированного срока переработки и разработанного типоразмерного ряда биоферментационных установок, установлено, что для переработки твердой фракции необходим биоферментатор производительностью 3 т/сут: при степени заполнения 0,75 рабочий объем барабана биоферментатора составляет 18,8 м<sup>3</sup>, что достаточно для его потокового функционирования [9]. Количество образуемой подстилки с учетом потерь массы и влажности составляет 1,91 т/сут.

Годовое количество произведенной подстилки – 697 т, что существенно превышает требуемые 660,5 т. Излишки могут быть вывезены на поля и использованы в качестве органического удобрения.

*Вариант II. Смешивание цельного навоза с торфом и последующая аэробная ферментация в установках барабанного типа.*

Для успешного протекания процесса аэробной ферментации необходимо приведение влажности субстрата для ферментирования к содержанию влаги 68%. Требуемое количество влагопоглотителя (торфа) находим по формуле (1):

$$m_T = m_H(W_H - W_C) / W_C - W_T, \quad (1)$$

где  $m_T$  – необходимая масса торфа, т;

$m_H$  – масса образуемого навоза, т;

$W_H$  – влажность навоза, %;

$W_C$  – влажность субстрата, %;

$W_T$  – влажность торфа, %.

При условии ежедневного образования 9,7 т навоза необходимо 14,9 т торфа влажностью 55%. Общая масса субстрата для ферментации составляет 24,6 т. Для его переработки требуются 2 установки производительностью 9 т исходного субстрата в сутки (объемом 73,85 м<sup>3</sup>) и 1 установка производительностью 6 т/сут (объемом 49,2 м<sup>3</sup>).

С учетом потерь массы и влажности в процессе ферментации, суточное количество образующейся подстилки составит 18,5 т, годовое – 6740,6 т. Этот объем существенно перекрывает потребность предприятия в подстилке, а также ставит задачу реализации излишков, так как 6740,1 т переработанного материала в год превышает допустимое количество органического удобрения, которое может быть внесено на земельные угодья, сопутствующие животноводческому предприятию такого размера.

*Вариант III. Смешивание цельного навоза с торфом и последующая аэробная ферментация в установках камерного типа.*

Переработка органических отходов в установках камерного типа характеризуется меньшей интенсивностью по сравнению с установками барабанного типа, что приводит к меньшим потерям влаги и большей продолжительности процесса ферментации. Годовое количество произведенной таким способом подстилки составит 7189,9 т.

Отличительная особенность аэробной ферментации в установках камерного типа заключается в цикличности процесса переработки, то есть в невозможности ежедневной отгрузки части готового продукта и загрузки в биоферментатор свежей порции субстрата. С учетом производства подстилки, а значит, более жестких санитарно-гигиенических требований к получаемому продукту и повышенной степени его подсушки длительность одного цикла биоферментации принята равной 8 сут в соответствии с методическими рекомендациями РД-АПК 1.10.15.02-17.

В зависимости от степени загрузки биоферментатора и плотности перерабатываемого материала вместимость одной камерной установки составляет 55-65 т исходного субстрата. При выполнении расчетов принята вместимость 60 т. Для ферментации полученного субстрата требуется 5 ферментационных установок камерного типа (табл. 1).

Для выявления оптимальной технологии оценим экономическую эффективность все трех вариантов. При расчете необходимого количества зданий, сооружений и технических средств, учтены задействованные объемы, площади, производительность транспортных средств, нормы выработки и рекомендуемые дозы внесения твердых органических удобрений.

При разделении навоза на фракции и последую-

Таблица 1

Table 1

**ЦИКЛОГРАММА ЗАПОЛНЕНИЯ ФЕРМЕНТАЦИОННЫХ УСТАНОВОК КАМЕРНОГО ТИПА**  
**SEQUENCE DIAGRAM OF FILLING CHAMBER-TYPE FERMENTERS**

| № Биоферментатора<br>Biofermenter | Сутки цикла переработки / Day of a recycling cycle |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------------------|----------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                                   | 1                                                  | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12    |
| 1                                 | 24,6*                                              | 24,6* | 10,8* | п     | п     | п     | п     | п     | п     | п     | п     | в     |
| 2                                 | п                                                  | в     | 13,8* | 24,6* | 21,6* | п     | п     | п     | п     | п     | п     | п     |
| 3                                 | п                                                  | п     | п     | в     | 3     | 24,6* | 24,6* | 7,8*  | п     | п     | п     | п     |
| 4                                 | п                                                  | п     | п     | п     | п     | п     | в     | 16,8* | 24,6* | 18,6* | п     | п     |
| 5                                 | п                                                  | п     | п     | п     | п     | п     | п     | п     | в     | 6*    | 24,6* | 24,6* |

Примечание: \* – масса загружаемого в ферментатор субстрата, т;

п – переработка субстрата;

в – выгрузка готового продукта.

Note: \* – mass of the substrate fed into the fermenter, t;

п – the substrate processing;

в – the finished product unloading.

щей аэробной ферментации твердой фракции навоза в установках барабанного типа (*вариант I*) переработка навоза требует следующих затрат:

- на участке сепарации навоза: 1 здание объемом  $9 \times 6 \times 3 \text{ м}^3$  (810 тыс. руб.); 1 емкость накопления объемом  $9 \times 4 \times 3 \text{ м}^3$  (540 тыс. руб.); 1 сепаратор заданной производительности (850 тыс. руб.); 1 насос для навоза (260 тыс. руб.); 1 миксер (650 тыс. руб.);

- на участке производства подстилки: 1 бетонированная площадка площадью  $4 \times 10 \text{ м}^2$  (100 тыс. руб.); 1 биоферментационная установка барабанного типа производительностью 3 т/сут (3500 тыс. руб.); 1 приемный бункер (100 тыс. руб.); 1 загрузочное устройство (60 тыс. руб.);

- на участке хранения продуктов переработки навоза и прочих компонентов для производства подстилки: 2 хранилища жидкой фракции объемом  $1500 \text{ м}^3$  (2200 тыс. руб.); 1 бетонированная площадка с навесом площадью  $18 \times 12 \text{ м}^2$  (540 тыс. руб.);

- технические средства, задействованные при транспортировке навоза и продуктов его переработки: 1 трубопроводный транспорт с насосом (280 тыс. руб.); 1 трактор кл. тяги 2,0 (1250 тыс. руб.); 1 прицеп вместимостью 6 т (750 тыс. руб.); 1 фронтальный погрузчик объемом ковша не менее  $1,5 \text{ м}^3$  (1450 тыс. руб.);

- технические средства, задействованные при внесении органического удобрения: 1 трактор с кл. тяги 2,0 (1250 тыс. руб.); 1 машина для внесения твердых органических удобрений вместимостью 6 т (800 тыс. руб.); 1 трактор кл. тяги 3,0 (1800 тыс. руб.); 1 машина для внесения жидких органических удобрений вместимостью 11 т (1800 тыс. руб.).

Переработка навоза, смешанного с торфом, в установках барабанного типа (*вариант II*) требует наличия следующих сооружений и оборудования:

- на участке производства подстилки: 1 бетонированная площадка площадью  $15 \times 15 \text{ м}^2$  (562,5 тыс. руб.); 1 биоферментационная установка барабанного типа производительностью 6 т/сут (7500 тыс. руб.); 2 биоферментационные установки барабанного типа про-

изводительностью 9 т/сут (25000 тыс. руб.); 3 приемных бункера (420 тыс. руб.); 3 загрузочных устройства (180 тыс. руб.);

- на участке хранения продуктов переработки навоза и прочих компонентов для производства подстилки: 1 бетонированная площадка с навесом для хранения торфа с учетом трехдневного запаса  $27 \times 10 \text{ м}^2$  (675 тыс. руб.); 1 бетонированная площадка с навесом для хранения готовой подстилки  $50 \times 40 \text{ м}^2$  (5000 тыс. руб.);

- технические средства, задействованные при транспортировке навоза и продуктов его переработки: 3 трактора кл. тяги 2,0 (3750 тыс. руб.); 3 прицепа вместимостью 6 т (2250 тыс. руб.); 2 фронтальных погрузчика с ковшом объемом не менее  $3 \text{ м}^3$  (4500 тыс. руб.);

- технические средства, задействованные при внесении органического удобрения: 6 тракторов кл. тяги 2,0 (7500 тыс. руб.); 6 машин для внесения твердых органических удобрений вместимостью 6 т (4800 тыс. руб.).

Переработка навоза, смешанного с торфом, в установках камерного типа (*вариант III*) требует следующих сооружений и оборудования:

- на участке производства подстилки: 1 бетонированная площадка площадью  $27 \times 16 \text{ м}^2$  (1080 тыс. руб.); 5 биоферментационных установок камерного типа (10000 тыс. руб.); 1 фронтальный погрузчик с ковшом объемом не менее  $3 \text{ м}^3$  (2250 тыс. руб.);

- на участке хранения продуктов переработки навоза и прочих компонентов для производства подстилки: 1 бетонированная площадка с навесом для хранения торфа с учетом трехдневного запаса  $27 \times 10 \text{ м}^2$  (675 тыс. руб.); 1 бетонированная площадка с навесом для хранения готовой подстилки  $40 \times 40 \text{ м}^2$  (4000 тыс. руб.);

- технические средства, задействованные при транспортировке навоза и продуктов его переработки: 3 трактора кл. тяги 2,0 (3750 тыс. руб.); 3 прицепа вместимостью 6 т (2250 тыс. руб.); 2 фронтальных погрузчика с ковшом объемом не менее  $3 \text{ м}^3$  (4500 тыс. руб.);

- технические средства, задействованные при внесении органического удобрения: 6 тракторов кл. тяги

Таблица 2

Table 2

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЙ РЕЦИКЛИНГА НАВОЗА В ПОДСТИЛКУ**  
**COMPARATIVE ECONOMIC ASSESSMENT OF THE OPTIONS OF MANURE RECYCLING INTO BEDDING FOR ANIMALS**

| Показатели<br>Indicators                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Варианты / Variants                                       |                                                                 |                                                                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | I                                                         | II                                                              | III                                                               |
| Капитальные затраты, тыс. руб., в т.ч.:<br>здания и сооружения<br>технические средства и оборудование<br>Capital costs, thousand rubles, including:<br>buildings and facilities<br>technical means and equipment                                                                                                                                                                                                                                | 18190<br>4190<br>14000                                    | 62137,5<br>6237,5<br>55900                                      | 40805<br>15755<br>25050                                           |
| Удельные капитальные затраты, тыс. руб./т<br>Specific capital costs, thousand rubles / t                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 5,14                                                      | 17,55                                                           | 11,53                                                             |
| Эксплуатационные затраты, тыс. руб./год, в т.ч.:<br>амортизационные отчисления<br>затраты на ТО и ремонт оборудования<br>затраты на топливо<br>затраты на электроэнергию<br>заработная плата работников<br>затраты на закупку торфа<br>Operating costs, thousand rubles / year, including:<br>depreciation charges<br>maintenance and repair costs<br>fuel costs<br>electricity costs<br>salaries and wages of employees<br>peat purchase costs | 8886,6<br>1483,9<br>1302<br>3237,9<br>1147,9<br>1715<br>— | 24819,5<br>5714,7<br>5198,7<br>6428,8<br>2913,3<br>3515<br>1414 | 21327,8<br>2820,1<br>2329,65<br>9290,4<br>1903,66<br>3570<br>1414 |
| Удельные эксплуатационные затраты, тыс.руб./т·год<br>Specific operating costs, thousand rubles / t · year                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 2,51                                                      | 7,01                                                            | 6,02                                                              |
| Затраты труда, чел.·ч/т<br>Labour costs, people · H/t                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 5,1                                                       | 9,3                                                             | 10,5                                                              |
| Прибыль, тыс. руб.<br>Profit, thousand rubles                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 8815,9                                                    | –7117,1                                                         | –3625,3                                                           |
| Срок окупаемости, лет<br>Payback period, years                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 2,1                                                       | —                                                               | —                                                                 |

2,0 (7500 тыс. руб.); 6 машин для внесения твердых органических удобрений вместимостью 6 т (4800 тыс. руб.).

Сравнительная экономическая оценка технологий рециклинга навоза в подстилку выявила преимущество первого варианта, остальные два оказались убыточными (табл. 2).

Годовое производство подстилки превышает потребность предприятия в ней (36,5 т). Излишки можно использовать на полях как качественное органическое удобрение или реализовывать сторонним предприятиям, тем самым повышая рентабельность производства.

При реализации *варианта I* технологии рециклинга годовое количество произведенной подстилки составляет 697 т, *вариантов II и III* – 6740,6 и 7189,9 т соответственно. Перед предприятием встает новая задача – поиск потенциальных потребителей произведенного материала, так как данное количество пе-

реработанного навоза в виде органического удобрения не может быть внесено на собственные земельные угодья в регламентированные сроки.

**Выводы.** Наиболее экономически оправданный способ утилизации навоза – это *вариант I* технологии рециклинга (разделение навоза на фракции, аэробная ферментация твердой фракции в установках барабанного типа и длительное выдерживание жидкой фракции в навозохранилище). Он характеризуется наименьшими капитальными (18,2 млн руб.) и эксплуатационными (8,9 млн руб.) затратами, наименьшими затратами труда (5,1 чел.·ч/т), а также коротким сроком окупаемости (2,1 года). *Варианты II и III* требуют существенно больших затрат на внедрение и эксплуатацию, что в конечном итоге делает производство убыточным.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Брюханов А.Ю. Обеспечение экологической безопасности животноводческих и птицеводческих предприятий (Наилучшие доступные технологии). СПб.: ИАЭП. 2017. 296 с.
- Carroll E.J., Jasper D.E. Distribution of Enterobacteriaceae in recycled manure bedding on California dairies. *Journal of Dairy Science*. 1978. Vol. 61(10). 1498-1508.
- Leach K.A., Archer S.C., Brcen J.E. Recycling manure as cow bedding: Potential benefits and risks for UK dairy farms. *The Veterinary Journal*. 2015. Vol. 206(2). 123-130.
- Lendelová J. Testing of property changes in recycled bedding for dairy cows. *Research in Agricultural Engineering*. 2016. Vol. 62 (Special Issue). 44-52.



5. Chenyan L., Wei Q., Melse R.W. Patterns of dairy manure management in China. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2017. Vol. 10(3). 227-236.

6. Fournel S., Ruev P., Gdbout S., Fortin A. Production of recycled manure solids for bedding in Canadian dairy farms: I. Solid-liquid separation. *Journal of Dairy Science*. 2019. Vol. 102(2). 1832-1846.

7. Гордеев В.В., Хазанов В.С., Миронов В.Н., Гордеева Т.И., Миронова Т.Ю. Молочная ферма с теплицей // *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. 2014. N3(15). С. 184-187.

8. Брюханов А.Ю., Шалавина Е.В., Васильев Э.В. Методика укрупненной оценки суточного и годового выхода навоза/помета // *Молочнохозяйственный вестник*. 2014. N1(13). С. 78-85.

9. Уваров Р.А. Обоснование типоразмерного ряда барабанных биоферментаторов // *Технологии и технические сред-*

*ства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2018. N94. С. 143-150.

10. Ковалев Н.Г., Гриднев П.И., Гриднева Т.Т. Научное обеспечение развития экологически безопасных систем утилизации навоза // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2016. N1(50). С. 62-69.

11. Uvarov R., Subbotin I., Briukhanov A., Shalavina E. Disinfection of solid fraction of cattle manure in drum-type bio-fermenter. *Agronomy Research*. 2017. Vol. 15(3). 915-920.

12. Fournel S., Ruel P., Gdbout S., Fortin A. Production of recycled manure solids for use as bedding in Canadian dairy farms: II. Composting methods. *Journal of Dairy Science*. 2019. Vol. 102(2). 1847-1865.

13. Уваров Р.А. Результаты исследования возможности рециклинга твердой фракции навоза КРС в подстилку // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2015. N5(15). С. 174-178.

## REFERENCES

1. Bryukhanov A.Yu. Obespechenie ekhologicheskoy bezopasnosti zhivotnovodcheskikh i pitsevodcheskikh predpriyatiy (Nailuchshie dostupnye tekhnologii) [Ways to ensure environmental compatibility of livestock and poultry farms. Best Available Techniques]. Saint Petersburg: IEEP. 2017. 296 (In Russian).

2. Carroll E.J., Jasper D.E. Distribution of Enterobacteriaceae in recycled manure bedding on California dairies. *Journal of Dairy Science*. 1978. Vol. 61(10). 1498-1508 (In English).

3. Leach K.A., Archer S.C., Breen J.E. Recycling manure as cow bedding: Potential benefits and risks for UK dairy farms. *The Veterinary Journal*. 2015. Vol. 206(2). 123-130 (In English).

4. Lendelová J., Wei Q., Melse R.W. Testing of property changes in recycled bedding for dairy cows. *Research in Agricultural Engineering*. 2016. Vol. 62 (Special Issue). 44-52 (In English).

5. Chenyan L. et al. Patterns of dairy manure management in China. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2017. Vol. 10(3). 227-236 (In English).

6. Fournel S., Ruev P., Gdbout S., Fortin F. Production of recycled manure solids for bedding in Canadian dairy farms: I. Solid-liquid separation. *Journal of Dairy Science*. 2019. Vol. 102(2). 1832-1846 (In English).

7. Gordeev V.V., Hazanov V.S., Mironov V.N., Gordeeva T.I., Mironova T.Yu. Molochnaya ferma s teplitsej [Dairy farm with a greenhouse]. *Vestnik Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2014. N3(15). 184-187 (In Russian).

8. Bryukhanov A.Yu., Shalavina E.V., Vasil'ev E.V. Metodika ukрупnennoy otsenki sutochnogo i godovogo vykhoda navoza/pometa [Methodology of integrated estimation of daily and annual output of animal/poultry manure]. *Molochnokhozyaystvennyy vestnik*. 2014. N1(13). 78-85 (In Russian).

9. Uvarov R.A. Obosnovanie tiporazmernogo ryada barabannykh biofermentatorov [Determining type and size range of drum-type bio-fermenters]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2018. N94. 143-150 (In Russian).

10. Kovalev N.G., Gridnev P.I., Gridneva T.T. Nauchnoe obespechenie razvitiya ekologicheskoy bezopasnykh sistem utilizatsii navoza [Scientific grounds for the development of environmentally safe systems of manure disposal]. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka*. 2016. N1(50). 62-69 (In Russian).

11. Uvarov R., Subbotin I., Briukhanov A., Shalavina E. Disinfection of solid fraction of cattle manure in drum-type bio-fermenter. *Agronomy Research*. 2017. Vol. 15(3). 915-920 (In English).

12. Fournel S., Ruel P., Gdbout S., Fortin A. Production of recycled manure solids for use as bedding in Canadian dairy farms: II. Composting methods. *Journal of Dairy Science*. 2019. Vol. 102(2). 1847-1865 (In English).

13. Uvarov R.A. Rezul'taty issledovaniya vozmozhnosti retsiklinga tverdoi fraktsii navoza KRS v podstilku [Research results on the recyclability of solid cattle manure into bedding]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2015. N5(15). 174-178 (In Russian).

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The author declares no conflict of interest.

**Статья поступила в редакцию 30.05.2019**  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 30.05.2019

**Статья принята к публикации 07.06.2019**  
The paper was accepted  
for publication on 07.06.2019

## Пневматическая штанговая машина для рассеивания твердых минеральных удобрений

**Валентин Алексеевич Макаров<sup>1</sup>,**  
доктор технических наук, профессор,  
e-mail: va\_makarov@rambler.ru;

**Ольга Ивановна Журавлева<sup>2</sup>,**  
старший научный сотрудник;  
**Александр Владимирович Шемякин<sup>1</sup>,**  
доктор технических наук, доцент

<sup>1</sup>Рязанский государственный агроинженерный университет, г. Рязань, Российская Федерация;

<sup>2</sup>Институт технического обеспечения сельского хозяйства – филиал Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, г. Рязань, Российская Федерация

**Реферат.** В мировой практике для внесения твердых минеральных удобрений почти 90 процентов машин используют высевальные аппараты броскового типа. Показали, что наилучшими показателями обладают зернотуковые сеялки, у которых неравномерность внесения удобрений составляет около 10 процентов. Подтвердили, что из-за небольшой ширины захвата производительность этих машин недостаточна. На практике их не используют для внесения основной дозы удобрений при подготовке почвы под посев. *(Цель исследования)* Создать пневматическую штанговую машину, позволяющую повысить равномерность рассева удобрений при внесении основной дозы и подкормке по вегетирующим растениям. *(Материалы и методы)* Получили зависимости, позволяющие определить рациональные конструктивно-кинематические параметры устройства дозирования и распределения удобрений через эжекторы и рассеивающие поверхности с использованием законов и методов классической механики и математики. Провели экспериментальные исследования на разработанном и изготовленном образце. Проверили его работоспособность в полевых условиях по стандартным и частным методикам. Определили, что на качество рассева удобрений пневматической штанговой машиной основное влияние оказывают равномерность подачи их катушечными аппаратами в воздушную струю, в штанги с отверстиями и характер распределения удобрений по эжекторам в зависимости от расстояния между ними. *(Результаты и обсуждение)* Установили закономерности транспортирования и дозирования удобрений катушечными высевальными аппаратами с обоснованием метода и способа распределения воздушно-минеральной смеси по каналам штанги. Получили математическое описание процессов внесения минеральных удобрений с учетом качественных показателей равномерности рассеивания их по поверхности поля. Отметили, что неравномерность распределения удобрений при соответствующей длине штанг соответствует расчетным нормам. *(Выводы)* Выявили, что в полевых испытаниях машины неравномерность внесения аммиачной селитры составила 8 процентов. Установили, что уже на стадии проектирования машин можно оценить показатели по неравномерности в зависимости от качества дозирования и расстояния между высевальными эжекторами.

**Ключевые слова:** штанговая машина, эжекторы, удобрения, равномерность рассеивания, математические зависимости.

■ **Для цитирования:** Макаров В.А., Журавлева О.И., Шемякин А.В. Пневматическая штанговая машина для рассеивания твердых минеральных удобрений // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №3. С. 30-33. DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-3-30-33.

## Pneumatic Sucker-Rod Machine for Dispersing Solid Mineral Fertilizers

**Valentin A. Makarov<sup>1</sup>,**  
Dr.Sc.(Eng.), professor;  
e-mail: va\_makarov@rambler.ru;

**Olga I. Zhuravleva<sup>2</sup>,**  
senior research engineer;  
**Aleksandr V. Shemyakin<sup>1</sup>,**  
Dr.Sc.(Eng.), associate professor

<sup>1</sup>Ryazan State Agroengineering University, Ryazan, Russian Federation;

<sup>2</sup>Institute of Technical Support for Agriculture – Branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Ryazan, Russian Federation

**Abstract.** In the world practice of introducing solid mineral fertilizers, almost 90 percents of the machines used are equipped with throw-type seeding units. It has been proved that seed drills have shown the best performance, as their irregularity of

fertilizer application is about 10 percents. It has been still confirmed that their small width of application results in insufficient productivity, and in practice they are not used for introducing the main amount of fertilizers in pre-sowing soil preparation. (*Research purpose*) Designing a pneumatic sucker-rod machine providing for increased uniformity of fertilizer dispersing when introducing the main amount of fertilizers and further dressing vegetative plants. (*Materials and methods*) The authors obtained relationships allowing to determine rational constructive-and-kinematic parameters of a device for fertilizer metering and distributing through ejectors and dispersing surfaces using the laws and methods of classical mechanics and mathematics. Experimental studies were carried out using a developed and manufactured sample, and testing its operability in field conditions using standard and specific techniques. It was determined that the quality of fertilizer dispersing with a pneumatic sucker-rod machine is mainly affected by the uniformity of their supply by reel-type units to the air stream and rods with holes, and the pattern of fertilizer distribution to ejectors depending on the distance between them. (*Results and discussion*) The authors have made patterns of fertilizer transportation and metering with reel-type sowing units and determined the method and pattern of distributing an air-mineral mixture through the rod channels. The authors obtained a mathematical description of the processes of mineral fertilizer application, taking into account the qualitative indicators of their uniform dispersion over the field surface. It was noted that the uneven distribution of fertilizers when the rod length is appropriate corresponds to the design standards. (*Conclusions*) The authors have revealed that the rate of distribution unevenness of ammonium nitrate amounted to 8 percents. It has been found that even at the machinery designing stage it is possible to evaluate performance indicators in terms of unevenness depending on the metering quality and the distance between sowing ejectors.

**Keywords:** sucker-rod machine, ejectors, fertilizers, dispersion uniformity, mathematical relationships

■ **For citation:** Makarov V.A., Zhuravleva O.I., Shemyakin A.V. Pnevmaticheskaya shtangovaya mashina dlya rasseivaniya tverdykh mineral'nykh udobreniy [Pneumatic sucker-rod machine for dispersing solid mineral fertilizers]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N3. 30-33 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-3-30-33.

При определении качественных показателей машин для внесения твердых минеральных удобрений особое внимание уделяется вопросам равномерности рассева частиц по поверхности поля (Pat. WO 02/090223 A2) [1-3]. Для машин с рабочими органами броскового типа важное значение имеют гранулометрический состав удобрений, равномерность подачи их высевальными аппаратами, влажность воздуха, направление и скорость ветра относительно оси движения агрегата по полю.

**Цель исследования** – создать пневматическую штанговую машину, позволяющую повысить равномерность рассева удобрений при внесении основной дозы и подкормке по вегетирующим растениям.

**Материалы и методы.** Для решения проблемы повышения равномерности поверхностного рассева твердых минеральных удобрений и устранения имеющихся недостатков у существующих разбрасывателей можно использовать пневматическую машину со штанговыми рабочими органами (рис. 1).

**Результаты и обсуждение.** На качество рассева удобрений пневматической машиной, оснащенной штангой с отверстиями по всей длине, основное влияние оказывают равномерность подачи удобрений катушечными аппаратами в воздушную струю, создаваемую вентилятором, а также в отверстия (эжекторы). Учитывают и характер распределения удобрений в зависимости от расстояния между этими эжекторами (рис. 2).

Провели теоретические и экспериментальные исследования для определения зависимостей, позволя-

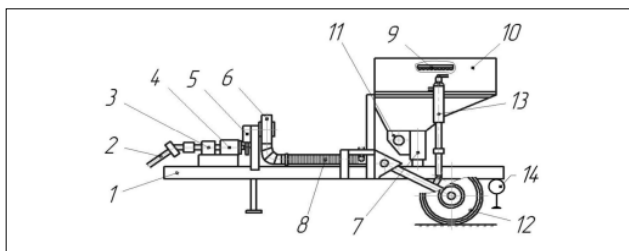


Рис. 1. Принципиальная схема пневматической штанговой машины для рассеивания твердых минеральных удобрений:

1 – рама; 2 – карданный вал; 3 – обгонная муфта; 4 – эластичная муфта; 5 – ременная передача; 6 – вентилятор; 7 – смешительная камера; 8 – воздуховод; 9 – распределитель удобрений; 10 – бункер; 11 – высевальный аппарат; 12 – опорное колесо; 13 – гидроцилиндр; 14 – штанга с рассеивателями

Fig. 1. Schematic diagram of a pneumatic sucker-rod machine for dispersing solid mineral fertilizers:

1 – frame; 2 – driveshaft; 3 – overrunning clutch; 4 – elastic coupling; 5 – belt drive; 6 – fan; 7 – mixing chamber; 8 – air duct; 9 – fertilizer spreader; 10 – fertilizer tank; 11 – sowing unit; 12 – support wheel; 13 – hydraulic cylinder; 14 – rod with dispersers

ющих получить рациональные конструктивно-кинематические параметры устройства дозирования и распределения удобрений через эжекторы и рассеивающие поверхности с использованием законов и методов классической механики и математики [4, 5]. Если известны неравномерность подачи удобрений в воздушный поток к высевальным эжекторам, характер их распределения и подачи воздушно-минераль-

ной смеси на рассеиватели, то качество распределения частиц удобрений в зависимости от расстояния между эжекторами можно оценить еще на стадии разработки конструкции для штанговых машин и своевременно внести необходимые коррективы в их конструкцию [6-10].

Неравномерность дозирования удобрений в высевующие эжекторы характеризуется средней подачей  $m_y$  и среднеквадратическим отклонением  $\sigma_y$ . Этот показатель определяют по результатам эксперимента.

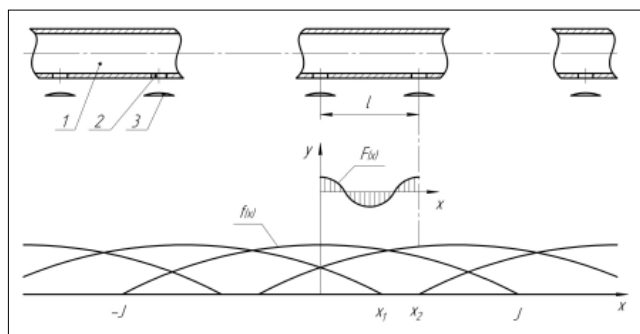


Рис. 2. Схема к определению неравномерности рассева удобрений по ширине захвата:

1 – штанга; 2 – высевующие эжекторы; 3 – рассеиватели

Fig. 2. Scheme to determine uneven dispersing of fertilizers along the operating width:

1 – rod; 2 – sowing ejectors; 3 – dispersers

Распределение удобрений рассеивателями можно описать функциональной зависимостью вида  $y=f(x)$ , что позволяет аналитическим методом выявить неравномерность распределения при изменении расстояния между эжекторами. Тогда на участке между двумя смежными эжекторами распределение удобрений описываем следующими зависимостями:

$$\begin{aligned} & f(x) + f(x-l); \\ & \text{при } 0 \leq x \leq x_1; \end{aligned} \quad (1)$$

$$F(x) = \begin{cases} f(x) + f(x-l); \\ \text{при } x_1 \leq x \leq x_2; \end{cases}$$

$$\begin{aligned} & f(x) + f(x-l) + f(x-2l) \\ & \text{при } x_2 \leq x \leq l \end{aligned}$$

где  $l$  – расстояние между смежными эжекторами, м.

Среднее значение функции  $F(x)$  на этом участке представим в виде:

$$\bar{y} = \frac{1}{l} \int_0^l F(x) dx. \quad (2)$$

Определенный интеграл функции  $F(x)$  на отрезке  $l$  равен определенному интегралу функции  $f(x)$  на отрезке  $[-Z, Z]$ , поэтому среднее значение функции  $F(x)$  можно вычислить по формуле:

$$\bar{y} = \frac{1}{l} \int_{-Z}^Z f(x) dx, \quad (3)$$

где  $\int_{-Z}^Z f(x) dx$  соответствует средней подаче удобрений в высевующий эжектор  $\bar{m}_D$ , поэтому  $\bar{y} = m_D / l$ .

Среднее квадратическое отклонение распределения удобрений эжекторами по ширине  $\sigma_p$  захвата можно представить в виде:

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{1}{l} \int_0^l [F(x) - \bar{y}]^2 dx}. \quad (4)$$

Вычислим среднее квадратическое отклонение распределения удобрений по поверхности поля с учетом неравномерности подачи их в эжекторы:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{dl}^2 + \sigma_p^2 + 2r_{dp} \sigma_{dl} \sigma_p}, \quad (5)$$

где  $\sigma_{dl}$  – среднеквадратическое отклонение поступления удобрений в эжекторы;

$r_{dp}$  – коэффициент корреляции подачи удобрения в эжекторы.

Таким образом, неравномерность распределения удобрений на поверхности поля по ширине захвата машины примет вид зависимости:

$$N_p = \sqrt{\sigma_{dl}^2 + \sigma_p^2 + 2r_{dp} \sigma_{dl} \sigma_p} \cdot 100 / \bar{y}, \quad (6)$$

где  $N_p$  – ширина захвата машины, м.

Неравномерность рассева удобрения по поверхности поля равна сумме неравномерности дозирования по эжекторам.

**Выводы.** Предложенный метод определения неравномерности рассева удобрений может быть использован при разработке конструкции в пневматическом рассеивателе удобрения с эжекторами по длине штанг. При испытаниях в полевых условиях неравномерность внесения аммиачной селитры и аммофоса составила 6-7% (при общей длине штанг 12 м и норме внесения 600 кг/га), что несколько ниже по сравнению с машинами, оборудованными бросковыми рабочими органами и утвержденными агропредприятиями к ним.

Определили, что неравномерность рассева удобрений пневматическим рассеивателями позволяет уже на стадии проектирования оценить показатели по неравномерности в зависимости от расстояния между высевующими эжекторами. Характер распределения аммиачной селитры по ширине захвата устанавливается по результатам опытов.

При проверке пневматического рассеивателя в производственных условиях неравномерность рассеивания аммиачной селитры составила по длине штанги в пределах 7,5-8,0%, при общей ширине штанг 12 м и дозах внесения 200 и 600 кг/га, что свидетельствует об удовлетворительном совпадении результатов. Определение неравномерности рассева твердых минеральных удобрений по поверхности поля с учетом неравномерности подачи их в высевующие эжекторы позволяет оценивать качественные показатели работы машины в целом.

# БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макаров В.А., Ходакова Т.А. О некоторых направлениях научно-прикладных исследований и разработок по совершенствованию сферы химизации сельского хозяйства региона // *Вестник РГАТУ*. 2011. N2. С. 19-21.
2. Кулешов М.С., Макаров В.А., Марченко Н.М. Исследование вопроса распределения воздушно-минеральной смеси по каналам штанговой машины для внесения удобрений // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2015. N2. С. 34-36.
3. Измайлов А.Ю., Макаров В.А. К вопросу обоснования технико-экономического уровня сельскохозяйственных машин и оборудования // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2016. N3. С. 17-19.
4. Лачуга Ю.Ф. Научно-методическое обеспечение развития фундаментальных и поисковых научных исследований в области сельского хозяйства // *АПК: Экономика, управление*. 2015. N2. С. 3-11.
5. Лачуга Ю.Ф., Ксендзов В.А. Теоретическая механика. М.: Колос. 2005. 576 с.

6. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Система машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства на период до 2020 года // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2013. N6. С. 6-10.
7. Степук Л.Я., Жешко А.А. Построение машин химизации земледелия. Минск: НППЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства. 2012. 442 с.
8. Pakma G., Calil Junior C. Propriedades fisicas de alguns produtos armazenados. *Revista Brasileira de Armazenamento*. 2005. Vol. 30. N1. 65-72.
9. Patterson D.E. The effect of slope on the transverse distribution pattern of fertilizer broadcaster. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 2004. N2. Vol. 9. 169-173.
10. Fronlich G., Broker K.-H., Rodel G. Computer Parcel Dispatcher with computer spreader for Exaktersuche. *Agricultural Engineering*. 2007. Vol. 62. N3. 150-151.

# REFERENCES

1. Makarov V.A., Khodakova T.A. O nekotorykh napravleniyakh nauchno-prikladnykh issledovaniy i razrabotok po sovershenstvovaniyu sfery khimizatsii sel'skogo khozyaystva regiona [On some areas of applied research and development to improve the chemicalization of regional agriculture]. *Vestnik RGATU*. 2011. N2. 19-21 (In Russian).
2. Kuleshov M.S., Makarov V.A., Marchenko N.M. Issledovanie voprosa raspredeleniya vozduшно-mineral'noy smesi po kanalam shtangovoy mashiny dlya vneseniya udobreniy [Study of the distribution of the air-mineral mixture in the channels of a sucker-rod applicator]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2015. N2. 34-36 (In Russian).
3. Izmaylov A.Yu., Makarov V.A. K voprosu obosnovaniya tekhniko-ekonomicheskogo urovnya sel'skokhozyaystvennykh mashin i oborudovaniya [To the issue of the technical-and-economic feasibility study of agricultural machines and equipment]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016. N3. 17-19 (In Russian).
4. Lachuga Yu.F. Nauchno-metodicheskoe obespecheniye razvitiya fundamental'nykh i poiskovykh nauchnykh issledovaniy v oblasti sel'skogo khozyaystva [Scientific and methodological support of the development of basic and exploratory research in the field of agriculture]. *APK: Ekonomika, upravlenie*. 2015. N2. 3-11 (In Russian).

5. Lachuga Yu.F., Ksendzov V.A. Teoreticheskaya mekhanika [Theoretical mechanics]. Moscow: Kolos. 2005. 576 (In Russian).
6. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. Sistema mashin i tekhnologii dlya kompleksnoy mekhanizatsii i avtomatizatsii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na period do 2020 goda [System of machines and technologies for integrated mechanization and automation of agricultural production for the period up to 2020]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2013. N6. 6-10 (In Russian).
7. Stepuk L.Ya., Zheshko A.A. Postroyeniye mashin khimizatsii zemledeliya [Design of machines for chemicalization of agriculture]. Minsk: NPTS NAN Belarusi po mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva. 2012. 442 (In Russian).
8. Pakma G., Calil Junior C. Propriedades fisicas de alguns produtos armazenados. *Rer. Brasil. Armazenmebto*. 2005. Vol. 30. N1. 65-72 (In English).
9. Patterson D.E. The effect of slope on the transverse distribution pattern of fertilizer broadcaster. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 2004. N2. Vol. 9. 169-173 (In English).
10. Fronlich G., Broker K.-H., Rodel G. Computer Parcel Dispatcher with computer spreader for Exaktersuche. *Agricultural Engineering*. 2007. Vol. 62. N3. 150-151 (In English).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Статья поступила в редакцию 08.02.2019**  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 08.02.2019

**Статья принята к публикации 10.06.2019**  
The paper was accepted  
for publication on 10.06.2019

## Обеспечение равномерности глубины обработки почвы

**Абдусалим Тухтакузиев,**  
доктор технических наук, профессор, старший  
научный сотрудник, e-mail: paytbaev@list.ru

Научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, Ташкентская область, Республика Узбекистан

**Реферат.** Описали условия, необходимые для равномерной обработки почвы на заданную глубину. Показали, что опорные колеса почвообрабатывающих машин должны быть постоянно прижаты к поверхности почвы. Подтвердили необходимость определения оптимального значения вертикальной силы давления опорных колес на почву. (*Цель исследования*) Выявить возможности обеспечения заданной глубины и требуемой равномерности обработки почвы на примере навесного плуга с опорным колесом. (*Материалы и методы*) Провели исследования с использованием методов теоретической и земледельческой механики, а также аналитической геометрии. Составили схему сил, действующих на плуг в процессе вспашки. (*Результаты и обсуждение*) Получили аналитическую зависимость для определения вертикальной силы давления опорного колеса навесного плуга на почву с учетом размеров и параметров механизма навески трактора, а также навесного устройства плуга. Графическим методом определили оптимальные значения расстояния по вертикали от опорной плоскости плуга до его нижних присоединительных точек. Вычислили оптимальные численные значения учитываемых параметров: расстояние по вертикали от опорной плоскости трактора до точки крепления нижних тяг его механизма навески – 0,6 метра; число корпусов, установленных на плуг, – 4 штуки; масса одного корпуса плуга – 250 килограммов; коэффициент полезного действия плуга – 0,7; глубина вспашки (обработки) – 0,3 метра; расстояние по горизонтали от нижних присоединительных точек плуга до носка лемеха первого корпуса – 0,45 метра; продольное расстояние между корпусами плуга – 1,0 метр; ширина полевой доски плуга – 0,2 метра; коэффициент сопротивления перекачиванию опорного колеса плуга – 0,2; диаметр опорного колеса – 0,5 метра и другие. (*Выводы*) Установили, что для обеспечения заданной глубины и требуемой равномерности вспашки расстояние по вертикали от опорных плоскостей четырехкорпусных плугов, агрегируемых с колесными тракторами класса 3-4, до нижних присоединительных точек должно быть в пределах 0,703-0,771 метра.

**Ключевые слова:** почвообработка, глубина и равномерность вспашки, навесной плуг, вертикальная сила давления опорного колеса.

■ **Для цитирования:** Тухтакузиев А. Обеспечение равномерности глубины обработки почвы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №3. С. 34-38. DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-3-34-38.

## Ensuring the Uniformity of Tillage Depth

**Abdusalim Tukhtakuziev,**  
Dr.Sc.(Eng.), professor, senior research engineer

Research Institute of Agricultural Mechanization, Tashkent region, Republic of Uzbekistan

**Abstract.** The authors have described the required conditions for uniform soil tillage at a given depth. It has been shown that depth wheels of tillage machines should be constantly pressed to the soil surface. The study has confirmed the need to determine the optimal value of the vertical pressure force exerted by the depth wheels on the soil. (*Research purpose*) To determine ways to ensure the given depth of tillage and the required uniformity using a mounted plow with a depth wheel. (*Materials and methods*) The authors conducted theoretical studies using methods of theoretical and agricultural mechanics, as well as analytical geometry. They made a diagram of forces acting on the plow in the process of plowing. (*Results and discussion*) The authors obtained an analytical relationship to determine the vertical pressure force exerted on the soil by a depth wheel of a mounted plow taking into account dimensions and parameters of a tractor mounting system as well as a plow mounting linkage. The optimal values of vertical distance from the plow supporting plane to its lower connecting points were graphically determined. The authors calculated the optimal numerical values of the parameters taken into account: the vertical distance from the tractor's supporting

plane to the attachment point of the lower links of its attachment mechanism is 0.6 meters; the number of bodies installed on a plow – 4; the weight of one plow body is 250 kilograms; the plow efficiency – 0.7; plowing (tillage) depth – 0.3 meters; horizontal distance from the lower connecting points of the plow to the share point of the first body – 0.45 meter; longitudinal distance between the plow bodies – 1.0 meter; plow landside width – 0.2 meters; coefficient of rolling resistance to the depth wheel of the plow – 0.2; the diameter of the depth wheel – 0.5 meters etc. (*Conclusions*) It has been established that in order to ensure a required plowing depth and uniformity, vertical distance from the supporting plane of four-body plows coupled with 3-4 class wheeled tractors to the lower connecting points should be within 0.703-0.771 meters.

**Keywords:** soil tillage, plowing depth and uniformity, mounted plow, vertical pressure of a depth wheel.

**For citation:** Tukhtakuziev A. Obespechenie ravnomernosti glubiny obrabotki pochvy [Ensuring the uniformity of tillage depth]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N3. 34-38 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-3-34-38.

**Г**лубина и равномерность обработки почвы служат основными показателями работы всех почвообрабатывающих машин. Их обеспечение позволяет создать благоприятные условия для роста и развития растений, получения высокого урожая при одновременном созревании [1-3].

Для выполнения этих условий опорные колеса почвообрабатывающих машин должны быть постоянно прижаты к поверхности почвы. Вертикальная сила их давления на почву имеет определенное значение:

$$Q_z = Q_{\text{опт}},$$

где  $Q_z$  – вертикальная сила давления опорных колес на почву;

$Q_{\text{опт}}$  – оптимальное значение вертикальной силы давления опорных колес на почву.

При  $Q_z < Q_{\text{опт}}$  опорные колеса почвообрабатывающих машин недостаточно качественно копируют неровности поверхности поля и в результате не обеспечивают необходимую равномерность глубины обработки почвы, а при  $Q_z > Q_{\text{опт}}$  тратится излишняя и бесполезная энергия на их перекатывание [1, 4, 5].

В ранее проведенных исследованиях вопросы обеспечения условия  $Q_z = Q_{\text{опт}}$  исследованы недостаточно, в частности, отсутствуют конкретные рекомендации по обеспечению этого условия с учетом параметров механизмов навесок тракторов и навесных устройств почвообрабатывающих машин. Настоящие исследования проведены для восполнения этого пробела [4, 6-11].

**Цель исследования** – выявить возможности обеспечения заданной глубины и требуемой равномерности обработки почвы на примере навесного плуга с опорным колесом.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** Исследования провели с использованием методов теоретической и земледельческой механики, а также аналитической геометрии.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** Пользуясь схемой, определим вертикальную силу давления опорного колеса плуга на почву (рис. 1):

$$Q_z = N_z = \left[ Mg(X_\pi + l_G) + R_{xz}(X_\pi + e + \frac{n_k - 1}{2}L + \frac{\rho_{xz}}{\sin \psi_{xz}}) \sin \psi_{xz} - R_{xz}(H_1 + Z_\pi) \times \right. \\ \left. \times \cos \psi_{xz} - F_x(H_1 + Z_\pi - 0,5b_d) \right] \frac{1}{\left[ X_\pi + l_N - \mu(H_1 + Z_\pi - h - 0,5d_T) \right]}, \quad (1)$$

где  $N_z$  – вертикальная составляющая реакции  $N$  почвы на опорное колесо, Н;

$M$  – масса плуга, кг;

$g$  – ускорение свободного падения, 9,81 м/с<sup>2</sup>;

$X_\pi, Z_\pi$  – соответственно, продольное и вертикальное расстояния от нижних присоединительных точек плуга до его мгновенного центра вращения  $\pi$  в продольно-вертикальной плоскости, м;

$l_G$  – расстояние по горизонтали от нижних присоединительных точек плуга до его центра тяжести, м;

$R_{xz}$  – равнодействующая сил, действующих на лемешно-отвальную поверхность корпусов плуга, Н;

$e$  – расстояние по горизонтали от нижних присоединительных точек плуга до носка лемеха первого корпуса, м;

$n_k$  – число корпусов, установленных на плуг, шт.;

$L$  – продольное расстояние между корпусами плуга, м;

$\rho_{xz}$  – расстояние от носка лемеха среднего (или условно среднего) корпуса до линии действия силы  $R_{xz}$ , м;

$\psi_{xz}$  – угол наклона силы  $R_{xz}$  к горизонту, град.;

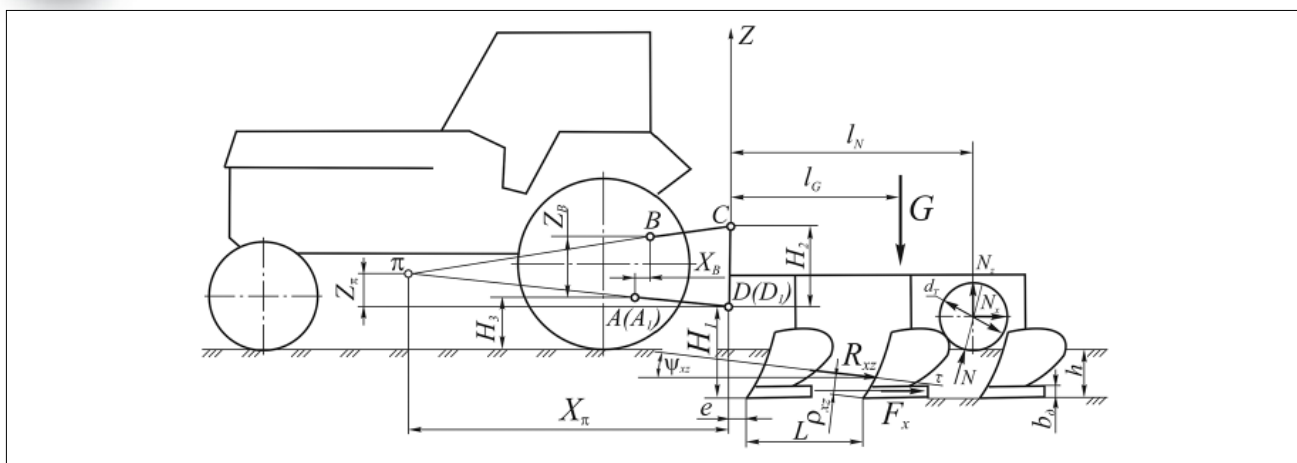


Рис. 1. Схема сил, действующих на плуг в процессе вспашки

Fig. 1. Diagram of forces acting on a plow in the plowing process

$H_1$  – расстояние по вертикали от опорной плоскости плуга до его нижних присоединительных точек, м;

$F_x$  – равнодействующая сил трения полевых досок о стенки борозд, кН;

$b_d$  – ширина полевой доски плуга, м;

$\mu$  – коэффициент сопротивления перекачиванию опорного колеса плуга;

$h$  – глубина вспашки (обработки), м;

$d_T$  – диаметр опорного колеса, м;

$l_N$  – расстояние по горизонтали от нижних присоединительных точек плуга до оси вращения его опорного колеса, м.

Для придания выражению (1) общего вида и удобства проводимых по нему расчетов, пользуясь методами аналитической геометрии, расстояние  $X_\pi$  и  $Z_\pi$  выразим через параметры механизма навески трактора и навесного устройства плуга, а  $M$ ,  $l_G$ ,  $R_{xz}$ ,  $F_x$  и  $l_N$  – через физико-механические свойства почвы и параметры плуга [1, 3]:

$$X_\pi = \frac{H_2 \sqrt{l_6^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} \left[ \sqrt{l_6^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} - X_B \right]}{(H_2 - Z_B) \sqrt{l_6^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} - (H_3 + h - H_1) X_B}; \quad (2)$$

$$Z_\pi = \frac{H_2 (H_3 + h - H_1) \left[ \sqrt{l_6^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} - X_B \right]}{(H_2 - Z_B) \sqrt{l_6^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} - (H_3 + h - H_1) X_B}; \quad (3)$$

$$M = n_K m_K; \quad (4)$$

$$l_G = e + \frac{n_K - 1}{2} L; \quad (5)$$

$$l_N = e + (n_K - 1) L; \quad (6)$$

$$R_{xz} = \frac{R_x}{\cos \psi_{xz}} = \frac{n_K \eta \kappa b_K h}{\cos \psi_{xz}}; \quad (7)$$

$$F_x = \frac{1}{6} R_x = \frac{1}{6} n_K \eta \kappa b_K h, \quad (8)$$

где  $H_2$  – расстояние по вертикали между нижними и верхними присоединительными точками плуга, м;

$H_3$  – расстояние по вертикали от опорной плоскости трактора до точки крепления нижних тяг его механизма навески, м;

$l_6$  – длина нижних тяг механизма навески трактора, м;

$X_B, Z_B$  – соответственно расстояния по горизонтали и вертикали между шарнирами крепления нижних и

верхней тяг механизма навески трактора, м;

$l$  – поперечное расстояние между нижними присоединительными точками плуга, м;

$c$  – поперечное расстояние между шарнирами крепления нижних тяг механизма навески трактора, м;

$m_k$  – масса одного корпуса плуга, кг;

$R_x$  – продольная составляющая сил, действующих на лемешно-отвальную поверхность корпусов плуга, Н;

$\eta$  – коэффициент полезного действия плуга;

$\kappa$  – удельное сопротивление почвы при вспашке, Па;

$b_k$  – ширина захвата корпуса плуга, м.

С учетом выражений (2)-(8) уравнение (1) примет следующий вид:

$$Q_Z = \left\{ (n_k m_k g + n_k \eta \kappa b_k h \operatorname{tg} \psi_{xz}) \times \right. \\ \times \frac{H_2 \sqrt{l_0^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} \left[ \sqrt{l_0^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} - X_B \right]}{(H_2 - Z_B) \sqrt{l_0^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} - (H_3 + h - H_1) X_B} - \\ - \frac{7}{6} n_k \eta \kappa b_k h) \frac{H_2 (H_3 + h - H_1) \left[ \sqrt{l_0^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} - X_B \right]}{(H_2 - Z_B) \sqrt{l_0^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} - (H_3 + h - H_1) X_B} + n_k m_k g \left( e + \frac{n_k - 1}{2} L \right) + \\ \left. + n_k \eta \kappa b_k h \left\{ \frac{1}{\cos \psi_{xz}} \left[ \left( e + \frac{n-1}{2} L + \frac{\rho_{xz}}{\sin \psi_{xz}} \right) \sin \psi_{xz} - H_1 \cos \psi_{xz} \right] - \frac{1}{6} (H_1 - 0,5 b_0) \right\} \right\} : \\ : \left\{ \frac{H_2 \sqrt{l_0^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} \left[ \sqrt{l_0^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} - X_B \right]}{(H_2 - Z_B) \sqrt{l_0^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} - (H_3 + h - H_1) X_B} + e + \right. \\ \left. + (n_k - 1) L + \mu \left\{ H_1 + \frac{H_2 (H_3 + h - H_1) \left[ \sqrt{l_0^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} - X_B \right]}{(H_2 - Z_B) \sqrt{l_0^2 - 0,25(l-c)^2 - (H_3 + h - H_1)^2} - (H_3 + h - H_1) X_B} - h - 0,5 d_T \right\} \right\} \quad (9)$$

Так как в этом выражении значения  $H_3$ ,  $X_B$ ,  $Z_B$ ,  $l_0$ ,  $c$  заданы и известны как параметры трактора,  $H_2$  и  $l$  – стандартизированы,  $M$ ,  $l_G$ ,  $l_N$ ,  $d_T$ ,  $e$ ,  $L$  – принимаются в основном из условий надежного и качественного выполнения плугом заданного технологического процесса при минимальных энергозатратах, то условие  $Q_Z = Q_{\text{опт}}$ , а следовательно заданная глубина и требуемая равномерность вспашки зависят в основном от расстояния  $H_1$ . Для определения его оптимального значения по выражению (9) построили графическую зависимость  $Q_Z = f(H_1)$  (рис. 2). Из нее по известному значению  $Q_{\text{опт}}$  вычислили оптимальное значение  $H_1$ .

Считаем, что для применяемых в сельскохозяйственном производстве Республики Узбекистан колесных тракторов класса 3-4 и агрегатируемых с ними навесных 4-корпусных плугов с опорным колесом справедливы следующие численные значения параметров:  $H_3 = 0,6$  м;  $X_B = 0,3$  м;  $Z_B = 0,56$  м;  $l_0 = 0,95$  м;  $c = 0,62$  м;  $H_2 = 0,9$  м;  $l = 1,04$  м;  $n_k = 4$  шт.;  $m_k = 250$  кг;  $\eta = 0,7$ ;  $\kappa = 0,9 \cdot 10^5$  Па;  $b_k = 0,45$  м;  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>,  $\rho_{xz} =$

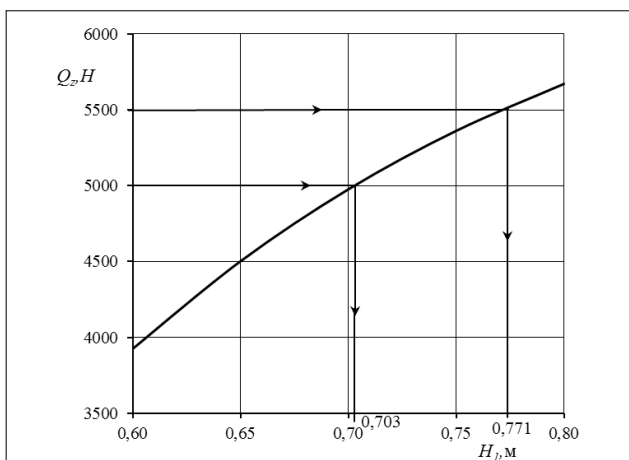


Рис. 2. Зависимость вертикальной силы давления опорного колеса плуга на почву  $Q_Z$  от расстояния по вертикали от опорной плоскости плуга до его нижних присоединительных точек  $H_1$

Fig. 2. Relationship between the vertical pressure force of a depth wheel on the soil  $Q_Z$  and the vertical distance from the supporting plane of a plow to its lower connecting points  $H_1$

0,15 м;  $\psi_{xz} = 12^\circ$ ;  $h = 0,30$  м;  $e = 0,45$  м;  $L = 1,0$  м;  $b_d = 0,2$  м;  $\mu = 0,2$ ;  $d_T = 0,5$  м. Подставляя значения  $Q_{\text{опт}}$  (5,0–5,5 кН), определим, что для обеспечения постоянной глубины вспашки 0,3 м вертикальное расстояние от опорных плоскостей до нижних присоединительных точек 4-корпусных плугов, агрегируемых с колесными тракторами класса 3–4, должно быть в пределах 0,703–0,771 м [4].

**Выводы.** Заданная глубина и требуемая равномерность обработки почвы при вспашке навесным плугом с опорным колесом зависят от вертикального расстояния между опорной плоскостью и нижними присоединительными точками. Установили, что у 4-корпусных плугов, агрегируемых с колесными тракторами класса 3–4, для обеспечения заданной глубины и требуемой равномерности вспашки этот показатель должен находиться в пределах 0,703–0,771 м.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение. 1977. 328 с.
2. Соколов Ф.А. Агрономические основы комплексной механизации хлопководства. Ташкент: Фан. 1977. 224 с.
3. Кленин Н.И., Сакун В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. М.: Колос. 2005. 671 с.
4. Бурченко П.Н. Механико-технологические основы почвообрабатывающих машин нового поколения. М.: ВИМ. 2002. 212 с.
5. Бледных В.В. Устройство, расчет и проектирование почвообрабатывающих орудий. Челябинск: ЧГАА. 2010. 203 с.
6. Лурье А.Б., Любимов А.И. Широкозахватные почвообрабатывающие машины. Л.: Машиностроение. 1981. 270 с.
7. Гячев Л.В. Влияние механических параметров почвообрабатывающих машин на устойчивость хода их рабочих органов // *Техника в сельском хозяйстве*. 1988. N3. С. 28–30.
8. Ахметов А.А. Исследование схемы механизма навески универсального предпосевного орудия ОПУ-4 // *Механизация хлопководства*. 1988. N6. С. 4–6.
9. Srivastava A.K., Goering C.E., Rohrbach R.P., Buckmaster D.R. Engineering principles of agricultural machines. SA: ASABE. 2006. 559.
10. Тухтакузиев А., Гайбуллаев Б. Обоснование параметров навески плуга к овощеводческому трактору ТТЗ-100SP // *Техника в сельском хозяйстве*. 2014. N3. С. 15–16.
11. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И., Чемисов Н.Н. Энергетическая и технологическая оценка почвообрабатывающего рабочего органа // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2015. Т. 9. N5. С. 10–13.

### REFERENCES

1. Sineokov G.N., Panov I.M. Teoriya i raschet pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Theory and calculation of soil-cultivating machines]. Moscow: Mashinostroenie. 1977. 328 (In Russian).
2. Sokolov F.A. Agronomicheskie osnovy kompleksnoy mekhanizatsii khlopkovodstva [Agronomic basics of complex mechanization of cotton growing]. Tashkent: Fan. 1977. 224 (In Russian).
3. Klenin N.I., Sakun V.A. Sel'skokhozyaystvennyye i meliorativnyye mashiny [Agricultural and land-improvement machines]. Moscow: Kolos. 2005. 671 (In Russian).
4. Burchenko P.N. Mekhaniko-tekhnologicheskie osnovy pochvoobrabatyvayushchikh mashin novogo pokoleniya [Mechanical and technological basics of soil-cultivating machines of a new generation]. Moscow: VIM. 2002. 212 (In Russian).
5. Blednykh V.V. Ustroystvo, raschet i proektirovanie pochvoobrabatyvayushchikh orudiy [Construction, calculation, and design of tillage tools]. Chelyabinsk: ChGAA. 2010. 203 (In Russian).
6. Lur'ye A.B., Lyubimov A.I. Shirokoxzhvatnye pochvoobrabatyvayushchie mashiny [Wide-coverage tillage machines]. Leningrad: Mashinostroenie. 1981. 270 (In Russian).
7. Gyachev L.V. Vliyaniye mekhanicheskikh parametrov pochvoobrabatyvayushchikh mashin na ustoychivost' khoda ikh rab-
- ochikh organov [Influence of mechanical parameters of soil-cultivating machines on the travel stability of their operating parts]. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 1988. N3. 28–30 (In Russian).
8. Akhmetov A.A. Issledovanie skhemy mekhanizma naveski universal'nogo predposevnogo orudiya OPU-4 [Study of the mounting mechanism scheme of a universal pre-sowing tool OPU-4]. *Mekhanizatsiya khlopkovodstva*. 1988. N6. 4–6 (In Russian).
9. Srivastava A.K., Goering C.E., Rohrbach R.P., Buckmaster D.R. Engineering principles of agricultural machines. SA: ASABE. 2006. 559 (In English).
10. Tukhtakuziev A., Gaybullaev B. Obosnovaniye parametrov naveski pluga k ovoshchevodcheskomu traktoru TTZ-100SP [Determination of the plow mounting scheme on the vegetable-cultivation tractor TTZ-100SP]. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 2014. N3. 15–16 (In Russian).
11. Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I., Chemisov N.N. Energeticheskaya i tekhnologicheskaya otsenka pochvoobrabatyvayushchego rabocheho organa [Energy and technological assessment of the tillage working body]. *Sel'skokozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2015. V. 9. N5. 10–13.

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The author declares no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 21.03.2019  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 21.03.2019

Статья принята к публикации 17.06.2019  
The paper was accepted  
for publication on 17.06.2019

## Прочностные и ресурсные характеристики почворезущих рабочих органов

Денис Александрович Миронов,  
кандидат технических наук,  
научный сотрудник,  
e-mail: mironov-denis87@mail.ru;

Сергей Алексеевич Сидоров,  
доктор технических наук,  
главный научный сотрудник;  
Игорь Викторович Лискин,  
научный сотрудник

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

**Реферат.** Важнейшая задача при создании конкурентоспособной сельскохозяйственной техники – производство высокоресурсных деталей. Разработка новых технологий и материалов определяет технический уровень сельскохозяйственного машиностроения. Лемех плуга служит наиболее нагруженной и важной деталью, от параметров которой зависят качественные, энергетические и экономические показатели технологической операции вспашки. *(Цель исследования)* Разработать и подтвердить теоретически материаловедческие и технологические параметры лемехов плугов, обеспечивающие повышение их долговечности и работоспособности. *(Материалы и методы)* Отметим низкий уровень качества отечественных лемехов плугов, изготовленных без применения современных технологий. Проанализировали материалы лемехов и других деталей почвообрабатывающих орудий, выпускаемых ведущими зарубежными фирмами, и пришли к выводу, что в их производстве используют низко- и среднеуглеродистые борсодержащие легированные и высоколегированные стали. Ведущие мировые производители деталей также часто применяют поверхностное наплавленное упрочнение их твердосплавными покрытиями. *(Результаты и обсуждение)* Теоретически и экспериментально обосновали направления повышения прочности и износостойкости лемешных рабочих органов. Выбрали материалы основы лемехов преимущественно исходя из параметров прочности. Провели сравнительные лабораторные испытания различных материалов и образцов-свидетелей (в том числе двухслойных) на абразивную износостойкость на двух стендовых установках. Определили материалы твердосплавных покрытий, уточнили коэффициенты относительной износостойкости рекомендованных к использованию в конструкциях лемехов сталей твердосплавных слоев. Рассмотрели технологический способ упрочнения машинных рабочих органов. *(Выводы)* Предложили упрощенную расчетную методику выбора конструктивно-материаловедческих параметров (толщины и ширины упрочняющих покрытий) лезвий лемехов и накладных долот, в зависимости от износных характеристик применяемых материалов и толщины материала основы лемехов. Разработали математические зависимости, определяющие линейный износ лезвия лемеха и его долота в зависимости от характеристик применяемых материалов, конструктивных параметров, почвенных условий и объема наработки. Осуществили проверочные эксплуатационно-ресурсные сравнительные испытания новых разработанных лемехов. Показали, что предельная наработка новых изделий превышает ресурс серийных аналогов в различных почвенно-климатических условиях в 3,5-5,5 раз.

**Ключевые слова:** почворезущие рабочие органы, лемеха плугов, линейный износ, ресурс, конструктивные параметры.

■ **Для цитирования:** Миронов Д.А., Сидоров С.А., Лискин И.В. Прочностные и ресурсные характеристики почворезущих рабочих органов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №3. С. 39-43. DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-3-39-43.

## Strength and Durability Characteristics of Soil-Cutting Working Tools

Denis A. Mironov,  
Ph.D.(Eng.), research engineer,  
e-mail: mironov-denis87@mail.ru;

Sergey A. Sidorov,  
Dr.Sc.(Eng.), chief research engineer;  
Igor V. Liskin,  
research engineer

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

**Abstract.** The most important task in designing competitive agricultural machinery is the production of parts with long service life. The development of new technologies and materials determines the technical level of agricultural engineering. The plowshare blade is the most loaded and important part, as its parameters determine the quality, energy and economic indicators of the technological operation of plowing. *(Research purpose)* To determine and confirm theoretically material and technological parameters of

plowshares, ensuring an increase in their durability and performance efficiency. (*Materials and methods*) The authors note the low quality level of domestic plowshares manufactured without the use of modern technologies. Then they analyze construction materials of plowshares and other parts of tillage implements produced by leading foreign companies, and come to a conclusion that low- and medium-carbon boron-containing alloyed and high-alloyed steels are used in their production. Leading global manufacturers of machine parts also often apply surface hardfacing with carbide coatings. (*Results and discussion*) The authors have theoretically and experimentally determined the directions of increasing the strength and durability of plowshare working tools. They have chosen basic materials for plowshares basing mainly on the strength parameters. They have conducted comparative laboratory tests of various materials and witness samples (including double-layer ones) for abrasive wear resistance on two bench installations; identified materials for carbide coatings, clarified the relative wear resistance coefficients of steel carbide layers recommended for use in the design of plowshares; and considered a technological method of hardening machine working tools. (*Conclusions*) The authors propose a simplified computational procedure for selecting design and material parameters (thickness and width of hardening coatings) of plowshare blades and over-chisels, depending on the wear characteristics of the materials used and the plowshare thickness. They have stated mathematical relationships that determine the linear wear of plowshare blades and chisels depending on the characteristics of the materials used, design parameters, soil conditions and total operation time and carried out comparative operational and duration testing of newly developed plowshares. It has been shown that the marginal operating time of new products exceeds the duration indicators of serial counterparts in different soil and climatic conditions in 3.5-5.5 times.

**Keywords:** soil-cutting working tools, plowshares, plows, linear wear, service life, design parameters.

**For citation:** Mironov D.A., Sidorov S.A., Liskin I.V. Prochnostnye i resursnye kharakteristiki pochvorezhushchikh rabochikh organov [Strength and durability characteristics of soil-cutting working tools]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N3. 39-43 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-3-39-43.

**П**роизводство высокоресурсных конкурентоспособных деталей сельскохозяйственных машин стало одной из важнейших задач при создании конкурентоспособной сельхозтехники. Разработка новых материалов и технологий, в частности, создание высокопрочных износостойких покрытий, в значительной степени определяет технический уровень сельхозмашиностроения и сельскохозяйственного производства в целом. Лемех плуга служит самой нагруженной и важной деталью, от параметров которой в преобладающей степени зависят качественные, энергетические и экономические показатели технологической операции вспашки [1]. Поэтому так важно повысить ресурсные и эксплуатационные характеристики этой массовой детали. Материалы, применяемые в конструкциях лемехов плугов, и технологии их упрочнения в основном определяют технический уровень, работоспособность и ресурс лемехов плугов наряду с их конструктивными параметрами. В серийном производстве лемехов плугов в РФ используют устаревшие материалы и технологии упрочнения. Это – одна из главных причин низкой конкурентоспособности данного вида российской продукции.

**Цель исследования** – разработка и обоснование материаловедческих и технологических параметров лемехов плугов, обеспечивающих повышение их долговечности и работоспособности.

**Материалы и методы.** Низкий уровень качества лемехов плугов, изготовленных без применения современных технологических процессов их обработки, проявляется прежде всего в таких процессах, как:

- изменение формы лемеха при эксплуатации из-за преждевременного износа носовой части;
- затупление лезвия лемеха и его носка;

- линейный износ лемеха по ширине лезвия и носка;
- износ крепежных болтов и отверстий;
- деформация и поломка лемехов, в том числе в опасных сечениях и в местах истончения вследствие почвенного абразивного изнашивания.

Анализ материалов лемехов и других деталей почвообрабатывающих орудий, выпускаемых ведущими зарубежными фирмами (*Kverneland* – Норвегия; *Lemken, Frank* – Германия; *Kuhn, Gregoire-Besson* – Франция; *Vogel&Noot* – Австрия; *Malmö* – Дания и др.), показал, что в их производстве используют низко- и среднеуглеродистые борсодержащие легированные и высоколегированные стали с пределом прочности  $\sigma_b = 1700-2000$  МПа, относительным удлинением  $\delta = 7,0-9,5\%$  и поверхностной твердостью 49-56 HRC. Ведущие мировые производители деталей, эксплуатирующихся в почвенно-абразивной среде, также часто применяют поверхностное наплавленное упрочнение их твердосплавными покрытиями с твердостью 60-68 HRC [2].

**Результаты и обсуждение.** Проведенные теоретические и экспериментальные исследования показали, что проблему повышения прочностных характеристик лемехов отечественных плугов можно решить путем внедрения в их конструкцию ряда дополнительных новшеств [3, 4]. Необходимо:

- использовать лемеха из металлов с пределом прочности (временного сопротивления разрыву)  $\sigma_b$  на 50-70% выше, чем у стали (Ст.45, Л53 и 65Г) и достаточным относительным удлинением ( $\delta$  не менее 7%);
- изготавливать накладное долото как фактор защиты максимально нагруженной зоны опасного сечения лемеха от значительного истирания металла лемеха и соответствующего ослабления его по тол-

щине, то есть защитить его от так называемого «лучевого износа»;

- приваривать дополнительную накладку в зоне полевого обреза лемеха, повышающую прочностные параметры его носовой части.

Перечисленные меры позволили создать лемех с гарантией от поломок и деформаций на период выработки полного ресурса по критерию износостойкости.

Повышение ресурса по критерию предельного изнашивания лемехов достигнуто путем внесения в конструкцию лемеха следующих изменений: использована конструкция нового лемеха с эвольвентным профилем, в частности, обеспечивающим снижение углов резания в лезвийной части лемеха по значению заднего угла резания до 4-11° в отличие от серийного (22-25°). Данная мера, согласно априорным научным данным о влиянии величины угла резания на общие и удельные нагрузки, позволяет уменьшить удельные нагрузки на лезвийную часть лемеха. Известно, что износ пропорционален удельным нагрузкам; соответственно износ лезвийной части нового опытного лемеха с меньшими углами резания снижается в сравнении с серийным аналогом при прочих равных условиях [1, 5]; создана конструкция лемеха с накладным выдвижным долотом на носовой части, установленным под определенным повышенным углом крошения; при этом оказалось, что выступающее на 2-6 см долото обеспечивает «эффект опережающей трещины», что также гарантирует попадание на лезвие лемеха почвенной массы в значительной степени уже разрыхленной, соответственно, с уменьшенными удельными нагрузками, а это приводит к пониженному износу материала; лезвие и долото лемеха упрочнены с нижней стороны новым твердосплавным покрытием с повышенным коэффициентом относительной износостойкости; параметры толщин твердослойных покрытий на лезвии и долоте подобраны как с точки зрения повышения линейной износостойкости деталей, так и с точки зрения улучшения формы самого лезвия и долота как средства защиты от затупления; разработана конструкция выдвижного упрочненного накладного сменного долота, которое в процессе эксплуатации на протяжении всего периода работы обеспечивает носовой части лемеха возможность соответствующего устойчивого заглубления детали и сохранения ее в работоспособном состоянии до наступления предельного значения по критерию уменьшения ширины лезвия (менее 90 мм).

Исходя из технологических, эксплуатационных, производственных и экономических условий, определили способ повышения износостойкости лезвийных частей и долот лемехов плугов с использованием плазменной дуговой наплавки твердосплавных материалов в среде сжатого воздуха. Проведены лабораторные испытания по износостойкости образцов из различных сталей и с разными твердослойными покрытия-

ми на двух испытательных установках: машине трения ИМ-1; круговом почвенном стенде. По их результатам выбраны материалы твердосплавных покрытий с добавками литого карбида вольфрама *WC*, имеющие повышенную относительную износостойкость (выше на 27-48% по сравнению с серийными железоуглеродистыми сплавами) и, соответственно, в 3,7-4,6 раза выше по сравнению с конструкционными сталями – материалами основы лемеха (Ст.45; Л53; 65Г) [6-10].

На основе анализа прочностных и износных характеристик выбраны базовые материалы основы лезвия лемеха и его долота:

- сталь 30ХГСА, термообработанная на твердость 47-50 HRC (коэффициент износостойкости относительно стали Ст.45 – 1,05-1,08),  $\sigma_B = 1590-1650$  МПа;

- лицензионная импортная борсодержащая сталь 30MnB5 (изготовитель – Мариупольский металлургический комбинат, Украина), термообработанная на твердость 51-53 HRC, коэффициент относительной износостойкости – 1,42-1,57;  $\sigma_B = 1730-1810$  МПа.

Предложена упрощенная расчетная методика выбора конструктивно-материаловедческих параметров двухслойных лезвий лемехов и их долот, которая базируется на учете максимальной линейной и конструкционной износостойкости, выраженной зависимостью для оценки сравнительного линейного износа двухслойного почворежущего лезвия:

$$U_{\text{лин.}(1)} = U_{\text{лин. двухсл.}} \cdot \left( \frac{K_{U_2}}{K_{U_1}} \right)^{0,5 \dots 0,6} \cdot \left[ 1 + K_{U_{\text{тв.спл.}}} \cdot \frac{h_{\text{тв.спл.}}}{b_{\text{осн}}} \right]^{0,7-0,8},$$

где  $U_{\text{лин.}(1)}$  и  $U_{\text{лин.двухсл.}}$  – линейные износы однородного и двухслойного почворежущих лезвий;  $K_{U_2}$  – коэффициент относительной износостойкости материала основы двухслойной детали (стали) выше (или ниже), чем у однородного материала ( $K_{U_1}$ );  $K_{U_{\text{тв.спл.}}}$  – коэффициент относительной износостойкости материала упрочняющего твердосплавного слоя (относительно стали 30ХГСА);  $h_{\text{тв.спл.}}$  – толщина слоя твердого сплава двухслойного лезвия, мм;  $b_{\text{осн.}}$  – толщина материала основы двухслойного лезвия, мм.

Для улучшенного формообразования двухслойного почворежущего лезвия необходимо, чтобы износ верхнего слоя в процессе изнашивания несколько превышал износ нижнего слоя, то есть:

$$U_{\text{верх.лин.}} > U_{\text{нижн.лин.}}$$

С определенным допущением представленное выражение может быть отнесено и к соотношению линейных износов монометаллического и двухслойного лезвий.

По результатам многолетних исследований выявили, что условия формообразования даже на проблемных типах почв должны отвечать отношению линейных износов однослойного и двуслойного почворежущих лезвий 1,7-1,8 (и более) для рабочих органов толщиной 10-12 мм:

$$\frac{U_{\text{лин.}(1)}}{U_{\text{лин. двухсл.}}} = [1 + K_{U_{\text{тв.спл.}}} \cdot \frac{h_{\text{тв.спл.}}}{b_{\text{осн}}}]^{0,7 \dots 0,8} > 1,7-1,8.$$

При этом принимаем, что  $K_{U_2} = K_{U_1}$ , то есть материал основы сравниваемых лемехов идентичен, или:

$$K_{U_{\text{тв.спл.}}} \cdot \frac{h_{\text{тв.спл.}}}{b_{\text{осн}}} > 1,08 \text{ или } h_{\text{тв.спл.}} > \frac{1,08 b_{\text{осн}}}{K_{U_{\text{тв.спл.}}}}.$$

С учетом того, что выбранный твердый сплав имеет усредненное значение  $K_{U_{\text{тв.спл.}}}$ , равное 4,05, подставим его в формулу и получим:

- для двухслойного лезвия лемеха с улучшенным формообразованием ( $b_{\text{осн.}} = 10 \text{ мм}$ )  $h_{\text{тв.спл.}} > 2,67 \text{ мм}$ ;
- для долота лемеха ( $b_{\text{осн.}} = 12 \text{ мм}$ )  $h_{\text{тв.спл.}} > 3,2 \text{ мм}$ .

По результатам теоретическо-экспериментальных исследований разработаны зависимости, определяющие значения линейного износа двухслойного почво-режущего лезвия лемеха и его долота. Точность полученных результатов составляет 15%:

$$U_{\text{лин. лезв. двухсл.}} = \frac{\lambda(1 + 1,05 \cdot T^{1,25})}{K_{U_{\text{тв.спл.}}} \cdot h_{\text{тв.спл.}}^{0,5}} \cdot \tau, \text{ мм},$$

где  $\lambda$  – математическое описание изнашивающей способности почв, мм/га (определяется по методике Сидорова С.А. [5]);

$\tau$  – наработка на лемех, га.

Аналогично найдем зависимость, определяющую величину линейного износа двухслойного долота лемеха:

$$U_{\text{лин. долот. двухсл.}} = \frac{\lambda(4 + 3,5 \cdot T^{1,5})}{K_{U_{\text{тв.спл.}}} \cdot h_{\text{тв.спл.}}^{0,5}} \cdot \tau, \text{ мм}.$$

Исходя из анализа данных зависимостей и значений критериев предельного состояния лемеха, выбрали параметры ширины наплавленного слоя: на лезвии лемеха – 22-24 мм; на долоте – 35-42 мм.

Провели широкие эксплуатационно-ресурсные испытания разработанных лемехов (рис. 1, 2) в сравнении с серийными в трех почвенных зонах по специально разработанной программе и методике.

По результатам испытаний ресурс опытных разработанных упрочненных лемехов с эвольвентным профилем и накладным выдвижным сменным долотом повышен в 3,5-5,5 раз с гарантией от поломки.

## Выводы

1. Предложили и обосновали теоретический выбор конструктивных параметров лемеха плуга эвольвентного профиля с накладным выдвижным сменным долотом, обеспечивающих уменьшение удельной почвенно-износной нагрузки на основную часть

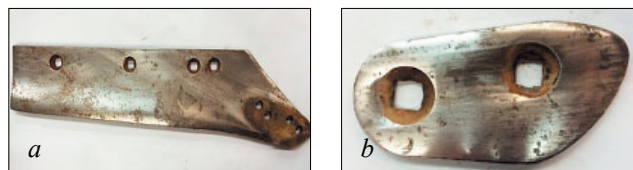


Рис. 1. Общий вид опытных изношенных разработанных эвольвентных лемехов (а) и долот (б), изготовленных из стали 30ХГСА с плазменной наплавкой после наработки 7,5 га на корпус в тяжелых почвенных условиях (СПА(К) «Кузьминский», Сергиево-Посадский район Московской области)

Fig. 1. General view of experimental worn-out developed involute plowshares (a) and chisels (b) made of the 30ХГСА steel with plasma surfacing after operating 7.5 hectares per unit in difficult soil conditions (Farm enterprise “Kuzminsky”, Sergiev Posad district, Moscow region)

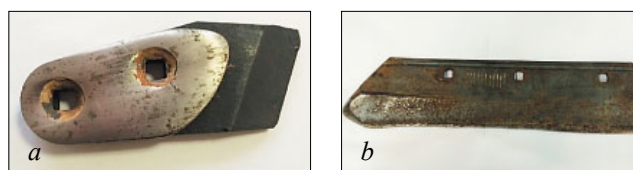


Рис. 2. Виды: а) нового (внизу) и изношенного (сверху) наплавленных накладных долот разработанных лемехов;

б) неработоспособного изношенного серийного лемеха после наработки 3,5 га (СПА(К) «Кузьминский» Сергиево-Посадский район Московской области)

Fig. 2. Types: a) new (below) and worn-out (above) welded overchisels of the developed plowshares; b) an inoperable worn out tillage share after operating 3.5 ha (Farm enterprise “Kuzminsky”, Sergiev-Posad district, Moscow region)

лезвия лемеха и, соответственно, позволяющих снизить износ детали.

2. Выбрали базовые материалы основы лемехов – стали 30ХГСА и 30MnB5, обеспечивающие повышение их прочностных и противоизносных параметров с гарантией от поломки.

3. Разработали эффективный экономический способ упрочнения лезвий и долот лемехов методом плазменной дуговой наплавки в среде сжатого воздуха твердых сплавов на железной основе с добавками литого карбида вольфрама.

4. Предложили методику выбора конструктивно-материаловедческих параметров двухслойных лемехов и накладных долот (толщина и ширина наплавленного слоя в зависимости от применяемых материалов).

5. Показали, что ресурс разработанных лемехов с указанными конструктивно-материаловедческими параметрами превышает ресурс серийных аналогов при эксплуатации в различных почвенно-климатических зонах в 3,5-5,5 раз.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Синекоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение. 1977. 328 с.
2. Izmaylov A.Yu., Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Khlusova

- E.I., Ryabov V.V. Novel high-alloy boron-containing steels for driven elements of tilling machins. *Metal Science and Heat Treatment*. 2017. Vol. 59. N3-4. 208-210.



3. Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Lobachevskii Ya.P., Akhmedova T.S. Improving wear resistance of agricultural machine components by applying hard-alloy thick-layer coatings using plasma surfacing. *Metallurgist*. 2017. Vol. 60. N11-12. 1290-1294.

4. Sidorov S.A., Lobachevskii Ya.P., Khoroshenkov V.K., Akhmedova T.S., Vorob'ev D.A. Wear and breakage resistance of hard alloy coatings strengthened with tungsten carbide. *Metallurgist*. 2018. Vol. 61. N11-12. 1023-1028.

5. Измайлов А.Ю., Сидоров С.А., Лобачевский Я.П., Хорошенков В.К., Кузнецов П.А., Юрков М.А., Голосиенко С.А. Научные принципы повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающей техники // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2012. N3. С. 5-7.

6. Миронов Д.А., Лискин И.В., Сидоров С.А. Влияние геометрических параметров долота на тяговые характеристики и ресурс лемехов отечественных плугов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2015. N6. С. 25-29.

7. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Сидоров С.А., Хорошен-

ков В.К., Лужнова Е.С., Миронов Д.А., Зайцев А.И., Родионова И.Г., Павлов А.А., Амежнов А.В. Использование биметаллических сталей для повышения ресурса рабочих органов сельскохозяйственных машин // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2013. N2. С. 80-81.

8. Мазитов Н.К., Лобачевский Я.П., Рахимов З.С., Хлызов Н.Т., Шарафиев Л.З., Садриев Ф.М., Дмитриев С.Ю. Российская технология обработки почвы и посева на основе собственных конкурентоспособных инновационных машин // *Достижения науки и техники АПК*. 2014. N7. С. 68-70.

9. Сидоров С.А., Миронов Д.А. Обоснование повышения эксплуатационно-ресурсных характеристик лемехов плугов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2013. N6. С. 14-17.

10. Mudarisov S.G., Gabitov I.I., Lobachevskiy Ya.P., Mazitov N.K., Rakhimov R.S., Khamaletdinov R.R., Rakhimov I.R., Farkhutdinov I.M., Mukhametdinov A.M., Gareev R.T. Modeling the technological process of tillage. *Solli Tillage Research*. 2019. Vol. 190. 70-77.

## REFERENCES

1. Sineokov G.N., Panov I.M. Teoriya i raschet pochvo-obrabatyvayushchikh mashin [Theory and calculation of tillage machines]. Moscow: Mashinostroyeniye. 1977. 328 (In Russian).

2. Izmaylov A.Yu., Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Khlusova E.I., Ryabov V.V. Novel high-alloy boron-containing steels for driven elements of tilling machines. *Metal Science and Heat Treatment*. 2017. Vol. 59. N3-4. 208-210 (In English).

3. Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Lobachevskii Ya.P., Akhmedova T.S. Improving wear resistance of agricultural machine components by applying hard-alloy thick-layer coatings using plasma surfacing. *Metallurgist*. 2017. Vol. 60. N11-12. 1290-1294 (In English).

4. Sidorov S.A., Lobachevskii Ya.P., Khoroshenkov V.K., Akhmedova T.S., Vorob'ev D.A. Wear and breakage resistance of hard alloy coatings strengthened with tungsten carbide. *Metallurgist*. 2018. Vol. 61. N11-12. 1023-1028 (In English).

5. Izmaylov A.Yu., Sidorov S.A., Lobachevskiy Ya.P., Khoroshenkov V.K., Kuznetsov P.A., Yurkov M.A., Golosiyenko S.A. Nauchnyye printsipy povysheniya iznosostoykosti rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchey tekhniki [Scientific principles of improving the durability of the working tools of tillage equipment]. *Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*. 2012. N3. 5-7 (In Russian).

6. Mironov D.A., Liskin I.V., Sidorov S.A. Vliyaniye geometricheskikh parametrov dolota na tyagovyye kharakteristiki i resurs lemekhov otechestvennykh plugov [Influence of the geometrical parameters of chisels on the traction characteristics and

durability of domestic plowshares]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2015. N6. 25-29 (In Russian).

7. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Luzhnova Ye.S., Mironov D.A., Zaytsev A.I., Rodionova I.G., Pavlov A.A., Amezhnov A.V. Ispol'zovaniye bimetallicheskh staley dlya povysheniya resursa rabochikh organov sel'skokhozyaystvennykh mashin [The use of bimetallic steels to increase the resource of the working tools of agricultural machines]. *Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*. 2013. N2. 80-81 (In Russian).

8. Mazitov N.K., Lobachevskiy Ya.P., Rakhimov Z.S., Khlyzov N.T., Sharafiyev L.Z., Sadriyev F.M., Dmitriyev S.Yu. Rossiyskaya tekhnologiya obrabotki pochvy i poseva na osnove sobstvennykh konkurentospobnykh innovatsionnykh mashin [Russian technology of tillage and seeding performed by competitive innovative domestic machines]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2014. N7. 68-70 (In Russian).

9. Sidorov S.A., Mironov D.A. Obosnovaniye povysheniya ekspluatatsionnoresursnykh kharakteristik lemekhov plugov [Determining the ways of improving the operational and durability characteristics of plowshares]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2013. N6. 14-17 (In Russian).

10. Mudarisov S.G., Gabitov I.I., Lobachevskiy Ya.P., Mazitov N.K., Rakhimov R.S., Khamaletdinov R.R., Rakhimov I.R., Farkhutdinov I.M., Mukhametdinov A.M., Gareev R.T. Modeling the technological process of tillage. *Solli Tillage Research*. 2019. Vol. 190. 70-77.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

**Статья поступила в редакцию 09.10.2018**  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 09.10.2018

**Статья принята к публикации 07.06.2019**  
The paper was accepted  
for publication on 07.06.2019

## Обоснование параметров ножей выравнивателя-рыхлителя

Хуршед Гафурович Абдулхаев,  
старший научный сотрудник, докторант,  
e-mail: paytbaev@list.ru;

Миркомил Мирзатолибович Халилов,  
младший научный сотрудник, докторант

Узбекский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, Ташкентская область, Республика Узбекистан

**Реферат.** Обеспечение качественного посева и равномерности всходов семян зависит от предпосевной подготовки почвы: разравнивания поверхности полей, уплотнения почвы до требуемой степени и образования мелкокомковатого мульчирующего слоя на ее поверхности. Для выполнения этих операций разработали выравниватель-рыхлитель. (*Цель исследования*) Обосновать углы заострения, длины и ширины междуследия режущих ножей выравнивателя-рыхлителя. (*Материалы и методы*) Провели теоретические исследования с применением методов высшей математики и теретической механики. Получили аналитические зависимости, определяющие рациональные значения угла заострения режущих ножей и ширину их междуследия. (*Результаты и обсуждение*) Показали, что передняя часть выравнивателя устраняет неровности поверхности почвы, а задняя часть уплотняет. Комки, находящиеся на поверхности почвы, частично измельчаются режущими ножами и частично вдавливаются в почву. Формируется мульчирующий слой толщиной 4-6 сантиметров. Приняли длину ножей равной глубине посева семян хлопчатника. Определили угол заострения ножей из условия отсутствия сгуживания почвы перед ними и исключения залипания ее на их рабочей поверхности. (*Выводы*) Выявили, что для обеспечения качественной подготовки почвы к севу при минимальных затратах энергии угол заострения режущих ножей выравнивателя-рыхлителя должен быть в пределах 54-66 градусов. Учитывая, что выравниватель-рыхлитель применяют в основном при подготовке почвы под посев хлопчатника, а заделку семян хлопчатника проводят на глубину 4-6 сантиметров, предложили принять длину ножей равной 5 сантиметрам. Рассчитали, что ширина междуследия режущих ножей не должна превышать 10 сантиметров.

**Ключевые слова:** выравниватель-рыхлитель, предпосевная обработка почвы, режущий нож, угол заострения, ширина междуследия, глубина обработки почвы, скорость движения.

■ **Для цитирования:** Абдулхаев Х.Г., Халилов М.М. Обоснование параметров ножей выравнивателя-рыхлителя // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №3. С. 44-47. DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-3-44-47.

## Determining the Parameters of Leveler-Ripper Shanks

Khurshed G. Abdulkhaev,  
senior research engineer, post-doc researcher,  
e-mail: paytbaev@list.ru;

Mirkomil M. Khalilov,  
junior research engineer, post-doc researcher

Uzbekistan Research Institute for Farm Mechanization, Tashkent Region, Republic of Uzbekistan

**Abstract.** In order to ensure high-quality sowing and smooth seed germination, the main task in pre-sowing soil preparation is field surface leveling, soil compaction to the required degree and the formation of a mildly mulching layer on the soil surface. For combined implementation of these operations, a leveler-ripper has been designed. (*Research Purpose*) Determination of cutting-edge angles, the inter-leg length and width of the shanks of a leveler-ripper (*Materials and Methods*) Theoretical studies were carried out using the methods of higher mathematics and theoretical mechanics. The authors obtained analytical dependences that help determine the rational values of the cutting-edge angle of the shanks and their inter-leg width. (*Results and Discussion*) It has been shown that the front part of a leveler aligns the unevenness of field surface, and the rear part compacts the soil. At the same time, the lumps located on the soil surface are partially crushed with the shanks and partially pressed into the soil. As a result, a mulching layer about 4-6 centimeters thick is formed. The shank length was taken equal to the sowing depth of cotton seeds. The authors determined the cutting-edge angle of the shanks proceeding from the condition of no soil build-up in front of them and no soil sticking to their working surface. (*Conclusions*) It has been revealed that to ensure quality soil preparation for sowing with minimal energy consumption, the cutting-edge angle of the shanks of a leveler-ripper should be in the range of 54-66 degrees.

Taking into account that a leveler-ripper is used mainly for soil preparation for cotton sowing, and cotton seeds are sealed at a depth of 4-6 centimeters, the shank length can take an average of 5 centimeters. It has been calculated that the inter-leg width should not exceed 10 centimeters.

**Keywords:** leveler-ripper, pre-sowing soil treatment, shank, cutting-edge angle, inter-leg width, soil tillage depth, travel speed.

**For citation:** Abdulkhaev Kh.G., Khalilov M.M. Obosnovaniye parametrov nozhey vyravnivatelya-rykhlitelya [Determining the parameters of leveler-ripper shanks]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N3. 44-47 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-3-44-47.

**В** условиях Республики Узбекистан обеспечение качественного посева и равномерности всходов семян зависит от предпосевной подготовки почвы: разравнивания поверхности полей, уплотнения почвы до требуемой степени и образования мелкокомковатого мульчирующего слоя на ее поверхности. Для этого мы разработали выравниватель-рыхлитель (рис. 1). Он состоит из выравнивателя, оборудованного режущими ножами, и зубчатого катка, шарнирно присоединенного к нему [1]. Агрегат применяют при подготовке полей к севу хлопчатника, зерновых и повторных культур. За один проход он выравнивает поверхность полей, уплотняет почву и образует мелкокомковатый слой на ее поверхности, то есть совмещает все три операции.

**Цель исследования** – обосновать углы заострения, длины и ширины междуследья режущих ножей выравнивателя-рыхлителя.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** Теоретические исследования провели с применением методов высшей математики и теретической механики. Получили аналитические зависимости, описывающие рациональные значения угла заострения режущих ножей и ширину их междуследья.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** В ходе исследований изучили параметры режущих ножей выравнивателя-рыхлителя:

$2\gamma$  – угол заострения, град.;

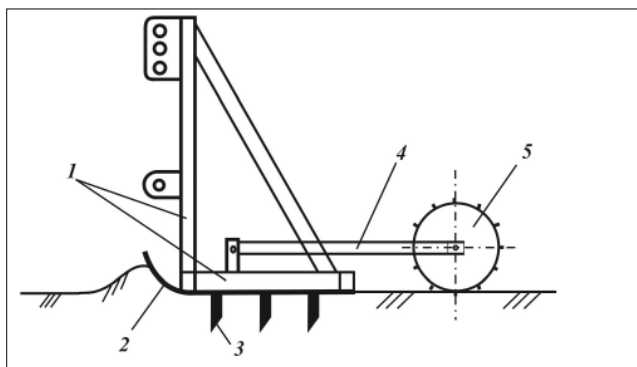


Рис. 1. Конструктивная схема выравнивателя-рыхлителя  
1 – рама с навеской; 2 – выравниватель; 3 – режущие ножи;  
4 – тяга; 5 – зубовой каток

Fig. 1. Design scheme of a leveler-ripper  
1 – a frame with an attachment; 2 – a leveler; 3 – shanks;  
4 – a rod; 5 – a toothed roller

$a$  – ширина междуследья, м;

$h$  – длина (высота), м.

Угол заострения ножей определяем из условия отсутствия сгруживания почвы перед ними и исключения залипания ее на их рабочей поверхности. Для этого необходимо выполнить следующее условие [2, 4]:

$$\gamma < \frac{\pi}{2} - \varphi, \quad (1)$$

где  $\gamma$  – половина угла заострения режущего ножа, град.;

$\varphi$  – внешний угол трения почвы, град.

При выполнении условия (1) под влиянием нормальной силы  $N_y$  и силы трения  $F_y$ , приложенных со стороны рабочей поверхности режущего ножа, частицы почвы на горизонтальной плоскости перемещаются по направлению их равнодействующей  $R_y$  со скоростью  $V_a$  (рис. 2):

$$V_a = V \frac{\sin \gamma}{\cos \varphi}, \quad (2)$$

где  $V$  – скорость агрегата при поступательном движении. Пользуясь схемой, определяем перпендикуляр-

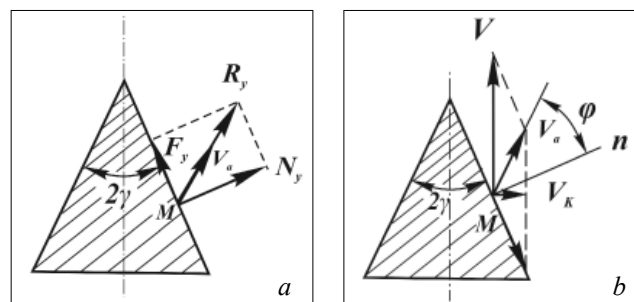


Рис. 2. Схема для определения угла заострения ножа выравнивателя-рыхлителя:  $N_y$  – нормальная сила;  $F_y$  – сила трения;  $R_y$  – равнодействующая;  $M$  – частица почвы;  $2\gamma$  – угол заострения;  $\varphi$  – внешний угол трения почвы;  $V$  – скорость перемещения частицы почвы;  $V_k$  – перпендикулярная составляющая скорости;  $n$  – нормаль, проведенная к рабочей поверхности ножа

Fig. 2. Scheme for determining the cutting-edge angle of the leveler-ripper shanks:  $N_y$  – normal force;  $F_y$  – friction force;  $R_y$  – resultant force;  $M$  – a soil particle;  $2\gamma$  – the cutting-edge angle;  $\varphi$  – the external angle of soil friction;  $V$  – the speed of movement of the soil particles;  $V_k$  – a perpendicular component of the speed;  $n$  – a normal line to the working surface of a shank

ную к направлению движения составляющую  $V_k$  скорости  $V_a$  (рис. 2b):

$$V_k = V \frac{\sin \gamma}{\cos \varphi} \cos(\gamma + \varphi). \quad (3)$$

В выражении (3) примем  $V = 2$  м/с. Построим графики изменения скорости  $V_k$  в зависимости от угла  $\gamma$  при разных значениях  $\varphi$  (рис. 3). Из графиков видно, что скорость  $V_k$  в зависимости от угла  $\gamma$  изменяется по закону выпуклой параболы и при некоторых значениях угла  $\gamma$  имеет максимальное значение.

Очевидно, что при значениях угла  $\gamma$ , соответству-

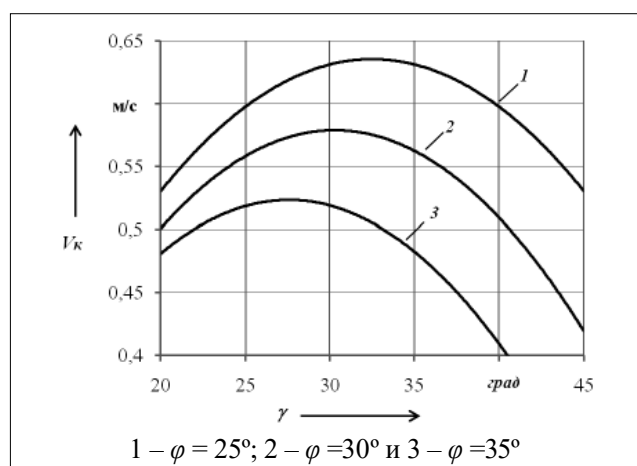


Рис. 3. Изменение скорости  $V_k$  в зависимости от угла  $\gamma$  при разных значениях внешнего угла трения почвы  $\varphi$   
1 – 25°; 2 – 30°; 3 – 45°

Fig. 3. Change in speed  $V_k$  depending on angle  $\gamma$  at different values of the external angle of soil friction  $\varphi$   
1 – 25°; 2 – 30°; 3 – 45°

ющих максимальной скорости  $V_k$ , вероятность залипания почвы на рабочей поверхности ножей выравнивателя-рыхлителя и сгуживания ее перед ними будет очень мала. В результате обеспечивается качественное выполнение технологического процесса и снижение тягового сопротивления.

Для определения значения угла  $\gamma$ , при котором  $V_k$  будет иметь максимальное значение, исследуем выражение (3) на экстремум по  $\gamma$ . Для этого определим первую производную выражения (3) по  $\gamma$  и полученный результат приравняем к нулю [5]:

$$\frac{dV_k}{d\gamma_{\text{или}}} = V \cos \varphi [\cos \gamma \cos \gamma + \varphi] - \sin \gamma \sin(\gamma + \varphi) = 0 \quad (4)$$

$$\cos(2\gamma + \varphi) = 0. \quad (5)$$

Из выражения (5) получим:

$$\gamma = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}. \quad (6)$$

Подставляя известные значения  $\varphi$  (25-35°) в выражение (6), определили, что угол  $\gamma$  должен быть в пределах 27-33°, а угол заострения ножа выравнивателя-рыхлителя  $2\gamma$  – 54-66° [6, 7].

Длину ножей определим исходя из глубины посева семян, так как ножи должны обрабатывать почву на эту глубину [8, 9].

Если учесть, что разработанная машина применяется в основном при подготовке почвы под посев хлопчатника, а посев семян хлопчатника проводится на глубину 4-6 см, то длину ножей можно принять в среднем равной 5 см.

Ширину междуследия ножей определим из условия обеспечения полной подготовки обрабатываемого слоя:

$$a \leq 2htg\psi_{\delta}, \quad (7)$$

где  $\psi_{\delta}$  – угол бокового скалывания почвы, град.

Расчеты, проведенные по выражению (7), при  $h = 5$  см и  $\psi_{\delta} = 45^\circ$  показали, что ширина междуследия режущих ножей должна быть не более 10 см [10-12].

**Выводы.** Для обеспечения качественной подготовки почвы к севу при минимальных затратах энергии угол заострения режущих ножей выравнивателя-рыхлителя, определенный из условия отсутствия сгуживания почвы перед ними и исключения залипания ее на их рабочую поверхность, а также обеспечения максимальной скорости перемещения частицы почвы в поперечном направлении, должен быть в пределах 54-66°. Учитывая, что выравниватель-рыхлитель применяют в основном при подготовке почвы под посев хлопчатника, а заделку семян хлопчатника проводят на глубину 4-6 см, предложили принять длину ножей равной 5 см. Рассчитали, что ширина междуследия режущих ножей не должна превышать 10 см.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Имомкулов К.Б., Халилов М.М. Обоснование параметров ножей выравнивающе-рыхляющей машины // *Agroilm.* 2017. N3(47). С. 100-102.
- Тургунов А.А. Выбор формы и обоснование параметров глубоководной лапы // *Сельское хозяйство Узбекистана.* 1998. N2. С. 39-40.
- Кленин Н.И., Сакун В.А. Сельскохозяйственные и механизированные машины. М.: Колос. 2005. 671 с.
- Бледных В.В. Устройство расчет и проектирование почвообрабатывающих орудий. Челябинск: Челябинская государственная агроинженерная академия. 2010. 214 с.
- Выгодский М.Я. Справочник по элементарной математике. М.: Наука. 2006. 509 с.
- Тухтакузиев А., Имомкулов К.Б. Научно-технические

основы деформации и разрушения почвы с минимальными затратами энергии. Ташкент: Komron Press. 2013. 120 с.

7. Сергиенко В.А., Байметов Р.И., Мансуров К.М. Основная обработка почвы в зоне Каршинской степи. Ташкент: Фан. 1982. 64 с.

8. Хамидов А. Хлопковые сеялки (Теория, конструкция и расчет). Ташкент: Укитувчи. 1984. 246 с.

9. Абдулхаев Х.Г. Обоснование ширины междуследия зубьев орудия для обработки гребней // *Научно-технический журнал ФерПИ*. 2016. N4. С. 147-149.

10. Тухтакузиев А., Мухамеджонов Ж., Умрзоков А., Аб-

дувахобов Д. Обоснование параметров колебательно-зубовых борон // *Проблемы механики*. 2013. N3-4. С. 104-107.

11. Mudarisov S.G., Gabitov I.I., Lobachevskiy Ya.P., Mazitov N.K., Rakhimov R.S., Khamaletdinov R.R., Rakhimov I.R., Farkhutdinov I.M., Mukhametdinov A.M., Gareev R.T. Modeling the technological process of tillage. Solli Tillge Research. 2019. Vol. 190. 70-77.

12. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И. Теоретические и технологические аспекты работы рыхлительного рабочего органа // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2016. Т. 10. N5. С. 17-23.

## REFERENCES

1. Imomkulov K.B., Khalilov M.M. Obosnovanie parametrov nozhey vyравnivayushche-rykhlyayushchey mashiny [Determining the parameters of knives used in leveling-ripper machines]. *Agroilm*. 2017. N3(47). 100-102 (In Russian).

2. Turgunov A.A. Vybory formy i obosnovanie parametrov glubokokhodnoy lapy [Choosing the form and determining the parameters of a deep-entry tine]. *Sel'skoe khozyaystvo Uzbekistana*. 1998. N2. 39-40 (In Russian).

3. Klenin N.I., Sakun V.A. Sel'skokhozyaystvennye i meliorativnye mashiny [Agricultural and land reclamation machines]. Moscow: Kolos. 2005. 671 (In Russian).

4. Blednykh V.V. Ustroystvo, raschet i proektirovaniye pochovoobrabatyvayushchikh orudiy [Construction, calculating and designing of tillage implements]. Chelyabinsk: Chelyabinskaya gosudarstvennaya agroinzhenernaya akademiya. 2010. 214 (In Russian).

5. Vygodskiy M.Ya. Spravochnik po elementarnoy matematike [Reference book on elementary mathematics]. Moscow: Nauka. 2006. 509 (In Russian).

6. Tukhtakuziev A., Imomkulov K.B. Nauchno-tehnicheskie osnovy deformatsii i razrusheniya pochvy s minimal'nymi zhatrami energii [Scientific and technical fundamental of soil deformation and destruction with minimal energy consumption]. Tashkent: Komron Press. 2013. 120 (In Russian).

7. Sergienko V.A., Baymetov R.I., Mansurov K.M. Osnovnaya obrabotka pochvy v zone Karshinskoy stepi [Basic tillage operations in the Karshi steppe zone]. Tashkent: Fan. 1982. 64 (In Russian).

8. Khamidov A. Khlopkovye seyalki (Teoriya, konstruktsiya i raschet) [Cotton seed drills (Theory, design, and calculation)]. Tashkent: Ukituvchi. 1984. 246 (In Russian).

9. Abdulkhaev Kh.G. Obosnovanie shiriny mezhdu slediya zub'ev orudiya dlya obrabotki grebney [Determining the width of an inter-tine gap of a tool for ridge cultivation]. *Nauchno-tehnicheskii zhurnal FerPI*. 2016. N4. 147-149 (In Russian).

10. Tukhtakuziev A., Mukhamedzhonov Zh., Umrzokov A., Abduvakhobov D. Obosnovanie parametrov kolebatel'no-zubovykh boron [Determining the parameters of vibrational-tine harrows]. *Problemy mekhaniki*. 2013. N3-4. 104-107 (In Russian).

11. Mudarisov S.G., Gabitov I.I., Lobachevskiy Ya.P., Mazitov N.K., Rakhimov R.S., Khamaletdinov R.R., Rakhimov I.R., Farkhutdinov I.M., Mukhametdinov A.M., Gareev R.T. Modeling the technological process of tillage. Solli Tillge Research. 2019. Vol. 190. 70-77 (In Russian).

12. Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I. Teoreticheskie i tekhnologicheskie aspekty raboty ryhlitel'nogo rabocheho organa [Theoretical and technological aspects of the loosening working body]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2016. V. 10. N5. 17-23 (In Russian).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 04.06.2019  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 04.06.2019

Статья принята к публикации 28.06.2019  
The paper was accepted  
for publication on 28.06.2019

## Исследование биодизельного топлива с добавками пальмового масла и перекиси водорода

**Петр Платонович Ощепков<sup>1</sup>,**

кандидат технических наук, доцент;

**Иван Александрович Заев<sup>2</sup>,**

кандидат физико-математических наук,

e-mail: i\_zaev@mail.ru;

**Сергей Владимирович Смирнов<sup>1</sup>,**

кандидат технических наук, доцент;

**Антон Владиславович Бижаев<sup>3</sup>,**

кандидат технических наук, ассистент

<sup>1</sup>Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация;

<sup>2</sup>ООО «Кинтех Лаб», Москва, Российская Федерация;

<sup>3</sup>Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация

**Реферат.** Пальмовое масло по теплоте сгорания, стехиометрическому соотношению, цетановому числу наиболее близко к традиционному дизельному топливу. Однако повышенные кинематическая вязкость, температура застывания затрудняют его применение в чистом виде в дизельных двигателях. *(Цель исследования)* Изучить особенности горения: дизельного топлива с различными добавками пальмового масла (биодизельного топлива); чистого 100-процентного пальмового масла; биодизельного топлива с различными добавками пальмового масла и перекиси водорода, а также разработать метод управления процессом его горения. *(Материалы и методы)* Для определения времени задержки воспламенения выбрали методику кинетического моделирования процесса самовоспламенения биодизельного топлива в воздухе. Моделирование процесса самовоспламенения проводили в программном комплексе Chemical Workbench. В расчетах использовали модель адиабатической калориметрической бомбы. Для описания процесса самовоспламенения использовали универсальный кинетический механизм, который был верифицирован для расчета самовоспламенения суррогатов дизельного, биодизельного топлива, образования токсичных веществ и сажи в процессах горения. *(Результаты и обсуждение)* Показали, что добавки пальмового масла к дизельному топливу увеличивают задержку его самовоспламенения, особенно в области низких и средних температур – 750-950 кельвинов. Определили, что при добавке до 10 процентов пальмового масла время задержки воспламенения биодизельного топлива практически не отличается от показателя дизельного топлива – не более 5 процентов. Повышение добавки пальмового масла до 30 процентов и более заметно увеличивает задержку воспламенения топлива. При использовании в качестве топлива только пальмового масла задержка воспламенения в диапазоне температур 800-950 кельвинов возрастает в 2 раза. Рассчитали для каждого состава биодизельного топлива с различными добавками пальмового масла оптимальное количество перекиси водорода. *(Выводы)* Показали, как с помощью добавок перекиси водорода можно влиять на реакционную способность биодизельного топлива и тем самым регулировать время задержки его воспламенения.

**Ключевые слова:** пальмовое масло, альтернативные виды топлива, биотопливо, биодизельное топливо, время задержки воспламенения, добавки перекиси водорода, дизель.

■ **Для цитирования:** Ощепков П.П., Заев И.А., Смирнов С.В., Бижаев А.В. Исследование биодизельного топлива с добавками пальмового масла и перекиси водорода // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №3. С. 48-53. DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-3-48-53.

## Study of Biodiesel Fuel with Palm Oil and Hydrogen Peroxide Additives

**Petr P. Oshchepkov<sup>1</sup>,**

Ph.D.(Eng.), associate professor;

**Ivan A. ZaeV<sup>2</sup>,**

Ph.D.(Phys-Math.), e-mail: i\_zaev@mail.ru;

**Sergey V. Smirnov<sup>1</sup>,**

Ph.D.(Eng.), associate professor;

**Anton V. Bizhaev<sup>3</sup>,**

Ph.D.(Eng.), assistant professor

<sup>1</sup>Russian University of Peoples' Friendship, Moscow, Russian Federation;

<sup>2</sup>Kintech Lab LLC, Moscow, Russian Federation;

<sup>3</sup>Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

**Abstract.** Palm oil is comparable to traditional diesel fuel in terms of calorific value, stoichiometric ratio, and cetane number. However, its increased kinematic viscosity and pour point make it difficult to use in pure form in diesel engines. (*Research purpose*) To study specific features of burning: diesel fuel with various additives of palm oil (biodiesel fuel); pure 100-percent palm oil; biodiesel fuel with various additives of palm oil and hydrogen peroxide, as well as to develop a method to control its combustion process. (*Materials and methods*) To determine the ignition time lag, the authors chose a method of kinetic modeling of self-ignition of biodiesel fuel in the air. The self-ignition process was simulated using the Chemical Workbench software package. An adiabatic calorimetric bomb model was used to perform calculations. To describe the process of self-ignition, a universal kinetic mechanism was used, which was verified to calculate self-ignition of diesel and biodiesel fuel surrogates, as well as the formation of toxic substances and soot in the combustion processes. (*Results and discussion*) It is shown that adding palm oil to diesel fuel increases its ignition time lag, especially at low and medium temperatures of 750-950 kelvin. It was determined that with addition of 10 percent palm oil, the ignition time lag of biodiesel fuel is almost the same as that of diesel fuel - no more than 5 percent. Increasing the amount of palm oil additive up to 30 percent and more significantly increases the ignition time lag of the fuel. When using only palm oil as a fuel, the ignition time lag in the temperature range of 800-950 kelvin increases in two times. The study determined the optimal amount of hydrogen peroxide to be used for each composition of biodiesel fuel with various additives of palm oil. (*Conclusions*) It is shown that additives of hydrogen peroxide can influence the reactivity of biodiesel fuel and thereby regulate its ignition time lag.

**Keywords:** palm oil, alternative fuels, biofuel, biodiesel fuel, ignition time lag, hydrogen peroxide additives, diesel.

■ **For citation:** Oshchepkov P.P., Zaev I.A., Smirnov S.V., Bizhaev A.V. Issledovanie biodizel'nogo topliva s dobavkami pal'movogo masla i perekisi vodoroda [Study of biodiesel fuel with palm oil and hydrogen peroxide additives]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N3. 48-53 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2019-13-3-48-53.

**П**отребление топлива транспортом определяет мировой спрос на нефть и жидкие биотоплива (более 55%) [1]. Со временем запасы углеводородов сокращаются, поэтому во многих странах мира проводят исследования по поиску альтернативных видов топлива для двигателей внутреннего сгорания. К 2040 г. альтернативное топливо в транспортном секторе будет достигать 20% общего объема спроса на энергию [2, 3].

Наиболее распространены два типа биотоплива – этанол и биодизельное топливо [4].

Развивающиеся страны, такие как Малайзия, Индонезия, Таиланд, Нигерия, активно поддерживают тенденцию производства биотоплива из внутренних возобновляемых ресурсов.

Нигерия входит в ТОП-10 стран-производителей пальмового масла. Автомобильный транспорт в этой стране осуществляет большую часть грузовых и пассажирских перевозок, а в сельском хозяйстве занято 65% населения [5]. По данным *The Global Petroleum Club* и других источников, среди растений наибольший выход масла с гектара характерен для масличной пальмы [6, 7].

При использовании пальмового масла в качестве добавки к основному виду топлива в транспортном секторе сельского хозяйства Нигерии можно существенно уменьшить потребление дизельного топлива, сократить транспортные издержки на перевозку нефтепродуктов и снизить токсичность отработанных газов дизельных транспортных средств, используемых в аграрных районах страны [2, 3, 8].

Мировые лидеры по производству пальмового мас-

ла – Индонезия и Малайзия. В связи с актуальностью вопроса проводят научные исследования по использованию пальмового масла в качестве альтернативного топлива для дизельных двигателей [7, 8].

Сравнение физико-химических свойств растительных масел показывает, что пальмовое масло по теплоте сгорания, стехиометрическому соотношению, цетановому числу наиболее близко к традиционному дизельному топливу [9-11]. Однако повышенные кинематическая вязкость, температура застывания затрудняют его применение в чистом виде в дизельных двигателях без внесения изменений в конструкцию двигателя и топливной аппаратуры.

Необходимо провести исследования характеристик биодизельного топлива, представляющего собой смесь дизельного топлива и пальмового масла, при работе на котором не требуется вносить существенные изменения в конструкцию двигателя. Процесс горения топлива во многом определяют мощностные и экономические показатели работы двигателя.

**Цель исследования** – изучить особенности горения: дизельного топлива с различными добавками пальмового масла (биодизельного топлива); чистого 100% пальмового масла; биодизельного топлива с различными добавками пальмового масла и перекиси водорода, а также разработать метод управления процессом его горения.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** Для теоретической оценки параметров работы двигателя провели расчетные исследования параметров процесса горения исследуемых топлив.

Выделяют два процесса, зависящие от реакцион-

ной способности топлива: момент самовоспламенения топливовоздушной смеси и процесс распространения ламинарного пламени. Первый из них определяется кинетикой самовоспламенения топлива, второй – конструктивными и другими параметрами организации рабочего процесса (мелкость распыливания топлива, форма камеры сгорания в поршне, степень закрутки потока). При сохранении конструктивных параметров дизельного двигателя наибольший интерес представляет регулирование стадии самовоспламенения горючей смеси для обеспечения оптимальных условий воспламенения и последующего сгорания топлива.

Исследовали влияние состава биодизельного топлива (дизельное топливо + пальмовое масло) на характеристики его воспламенения в условиях работы дизельного двигателя, а также оценили возможность повышения его реакционной способности с помощью добавок к нему перекиси водорода.

О склонности дизельного топлива к самовоспламенению судят по цетановому числу. Процесс самовоспламенения топливо-воздушной смеси характеризуется временем задержки воспламенения. Именно по этому параметру можно оценить эффективность использования пальмового масла в дизельных двигателях без их существенной модификации.

Для определения времени задержки воспламенения выбрали методику кинетического моделирования процесса самовоспламенения биодизельного топлива в воздухе.

Реальное дизельное топливо представляет собой смесь сотен углеводородов, моделирование самовоспламенения которой затруднено из-за отсутствия данных о химических реакциях всех возможных углеводородов. Реальное дизельное топливо заменяют суррогатом – н-гептаном. Н-гептан имеет цетановое число, близкое к дизельному топливу, то есть демонстрирует подобные характеристики самовоспламенения. Ранее н-гептан использовали в качестве компонента суррогата дизельного топлива. Далее будем называть его дизельным топливом (ДТ) [12].

Биотопливо представляет собой результат этерификации растительных масел. В случае пальмового масла основными компонентами будут метил-эфиры пальмовой и олеиновой кислот [13]. Эквивалентная смесь метил-эфира пальмовой и олеиновой кислот используется в качестве суррогата пальмового масла (ПМ).

При кинетическом моделировании процесса самовоспламенения биодизельного топлива приняли следующие условия для момента впрыска и самовоспламенения топлива в дизельном двигателе:

- стехиометрическая топливо-воздушная смесь (самовоспламенение впервые происходит именно в зоне, где коэффициент избытка воздуха равен 1);
- диапазон начальных температур, характерных для температуры сжатого воздуха вблизи верхней

мертвой точки, – 700–1100 К;

- давление 40 бар;
- состав биодизельного топлива определяется массовой долей пальмового масла  $y$ , которая может изменяться в диапазоне от 0% (чистое ДТ) до 100% (чистое ПМ);
- в теоретических расчетах массовая доля перекиси водорода изменяется от 0 до 93% (от 0 до 930 г  $H_2O_2$  на 1 кг топлива).

Моделирование процесса самовоспламенения проводили в программном комплексе *Chemical Workbench*, в расчетах использовали модель адиабатической калориметрической бомбы [14].

Для описания процесса самовоспламенения использовали универсальный кинетический механизм, который был верифицирован для расчета самовоспламенения суррогатов дизельного, биодизельного топлива, образования токсичных веществ и сажи в процессах горения [12, 15, 16].

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** Рассчитали время задержки воспламенения от начальной температуры смесового топлива  $(100 - y)\%$  ДТ +  $y\%$  ПМ в воздухе для коэффициента избытка воздуха  $\alpha = 1$  (рис. 1). Добавки ПМ к ДТ увеличивают задержку самовоспламенения топлива в воздухе. Наиболее существенно увеличение в области низких и средних температур – 750–950 К. Именно при данных температурах происходит самовоспламенение топлива в дизеле вблизи верхней мертвой точки.

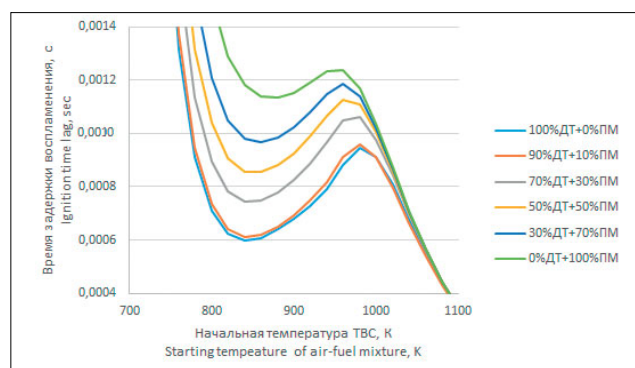


Рис. 1. Время задержки воспламенения топлива в зависимости от начальной температуры топливо-воздушной смеси ДТ – дизельное топливо; ПМ – пальмовое масло

Fig. 1. Ignition time lag of fuel depending on the initial temperature of the fuel-air mixture ДТ – diesel fuel; ПМ – palm oil

При добавке до 10% ПМ время задержки воспламенения биодизельного топлива практически не отличается от показателя дизельного топлива – не более 5%. Повышение добавки ПМ до 30% и более заметно увеличивает задержку воспламенения топлива. При использовании в качестве топлива только пальмового масла задержка воспламенения в диапазоне температур 800–950 К возрастает в 2 раза.

Для исследования возможности повышения реакционной способности биодизельного топлива провели серию расчетов времени задержки воспламенения чистого ДТ, а также для биодизельных топлив «добавка ПМ 30» (70% ДТ + 30% ПМ) и «добавка ПМ 70» (30% ДТ + 70% ПМ) в сочетании перекисью водорода  $H_2O_2$  от 0 до 13% по массе (рис. 2, 3).

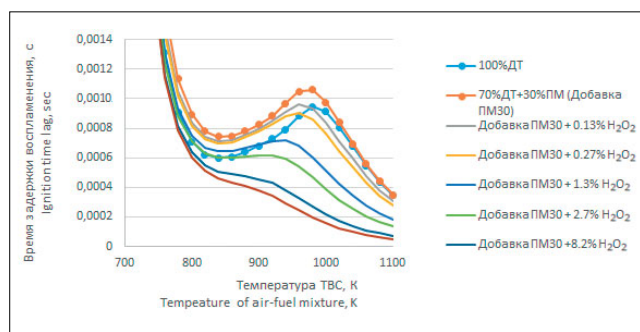


Рис. 2. Время задержки воспламенения биодизельного топлива (30% пальмового масла) в зависимости от добавки  $H_2O_2$  и начальной температуры топливно-воздушной смеси

Fig. 2. Ignition time lag of biodiesel fuel (30% palm oil) depending on the  $H_2O_2$  additive and the initial temperature of the fuel-air mixture

Для биодизельного топлива «добавка ПМ 30» с перекисью водорода в количестве 0,13-0,27% по массе (1,3-2,7 г на 1 кг топлива) позволяет модифицировать кинетику его воспламенения таким образом, что задержка воспламенения практически не отличается от задержки воспламенения ДТ в диапазоне температур 750-900 К. При добавке 13,0%  $H_2O_2$  время задержки воспламенения сокращается на 25% при температуре сжатого воздуха 850 К.

Для повышения реакционной способности топлива «добавка ПМ 70» до уровня ДТ необходимый уровень добавок перекиси водорода существенно возрастает – до 9,3%. При этом реакционная способность топлива в диапазоне температур 750-900 К ниже, чем у ДТ, а при температурах 850-900 К – выше.

Так как для биодизельного топлива «добавка ПМ 70» в диапазоне температур 750-850 К повышение реакционной способности за счет добавок перекиси водорода до 9,3% не позволило достичь показателей времени задержки воспламенения ДТ, то была выполнена дополнительная серия расчетов с большим процентным содержанием  $H_2O_2$  (рис. 4).

Увеличение добавки перекиси водорода до 18,6% не сократило существенно время задержки воспламенения в наиболее важном диапазоне температур для самовоспламенения 750-820 К. Превышение 18,6% добавки перекиси приводит к негативному эффекту: задержка воспламенения биодизельного топлива начинает расти по сравнению с ДТ.

Результаты расчетов показывают, что для каждого состава биодизельного топлива с различными до-

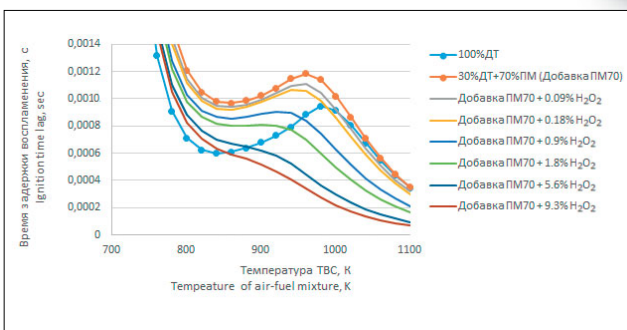


Рис. 3. Время задержки воспламенения биодизельного топлива (70% пальмового масла) в зависимости от добавки  $H_2O_2$  и начальной температуры топливно-воздушной смеси

Fig. 3. Ignition time lag of biodiesel fuel (70% palm oil) depending on the  $H_2O_2$  additive and the initial temperature of the fuel-air mixture

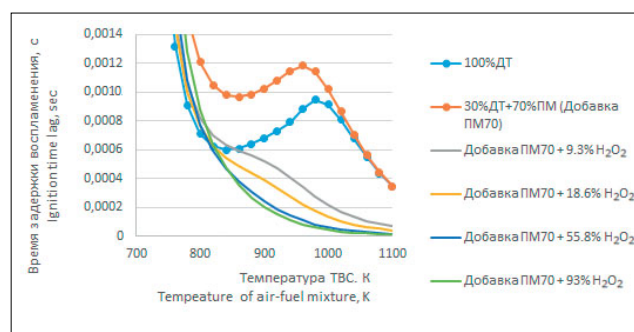


Рис. 4. Время задержки воспламенения биодизельного топлива (70% пальмового масла) в зависимости от повышенной добавки  $H_2O_2$  и начальной температуры топливно-воздушной смеси

Fig. 4. Ignition time lag of biodiesel fuel (70% palm oil) depending on the increased  $H_2O_2$  additive and the initial temperature of the fuel-air mixture

бавками пальмового масла существует оптимальное значение количества перекиси водорода, которое должно быть добавлено к топливу для максимального повышения его реакционной способности. Чем больше добавка пальмового масла к дизельному топливу, тем выше оптимальное значение добавки перекиси водорода для максимальной реакционной способности биодизельного топлива.

**Выводы.** Установили влияние добавок пальмового масла и перекиси водорода на время задержки воспламенения топлива.

При добавке до 10% ПМ время задержки воспламенения биодизельного топлива возрастает незначительно по сравнению с дизельным топливом – не более 5%. Дальнейшее увеличение добавки ПМ – свыше 30% – заметно усиливает задержку воспламенения топлива. При использовании в качестве топлива только пальмового масла задержка воспламенения в диапазоне температур 800-950 К возрастает в 2 раза.

Исследования показали эффективность использования  $H_2O_2$  в качестве добавки к биодизельному то-

пливу. Для биодизельного топлива «добавка ПМ 30» в сочетании с  $H_2O_2$  в количестве 1,3-2,7% по массе позволяет приблизить задержку воспламенения данного топлива в диапазоне температур от 750-900 К к точке воспламенения дизельного топлива, а при дальнейшем увеличении содержания  $H_2O_2$  свыше 2,7% время задержки воспламенения по сравнению с дизельным топливом уменьшается. При добавке 13%  $H_2O_2$  сокращение этого показателя составляет 25% при температуре сжатого воздуха 850 К.

Для повышения реакционной способности топлива «добавка ПМ 70» с целью приближения к уровню задержки воспламенения ДТ необходимо увеличить содержание  $H_2O_2$  до 9,3% по массе. Однако достичь времени задержки воспламенения ДТ в диапазоне температур сжатого воздуха 750-820 К не удастся.

Рассчитали, что для каждого состава биодизельного топлива с различными добавками пальмового

масла существует оптимальное значение процентного по массе содержания перекиси водорода, которое следует добавить к топливу для максимального повышения его реакционной способности. Причем чем больше добавка пальмового масла к дизельному топливу, тем выше будет оптимальное содержание перекиси водорода для максимальной реакционной способности биодизельного топлива.

Выявили влияние перекиси водорода на реакционную способность этого топлива с добавками пальмового масла, что позволяет регулировать время задержки воспламенения биодизельного топлива.

*Публикация подготовлена при финансовой поддержке Минобрнауки России (соглашение № 02. А03.21.0008).*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прогноз развития энергетики мира и России 2016 / под ред. А.А. Макарова Л.М. Григорьева Т.А. Митровой. М.: ИНЭИ РАН при Правительстве РФ. 2016. 200 с.
2. Sanjid A. Impact of palm, mustard, waste cooking oil and calophyllum inophyllum biofuels on performance and emission of CI engine. *Renewable and sustainable energy reviews*. 2013. N27. 664-682.
3. Шумилов К., Транспортная инфраструктура республики Нигерия // *Зарубежное военное обозрение*. 2004. N7. С. 18-22.
4. Марков В.А., Девянин С.Н., Зыков С.А., Гайдар С.М. Биотоплива для двигателей внутреннего сгорания. М.: НИЦ «Инженер» (Союз НПО). 2016. 292 с.
5. Loury M. Un nouveau carburant colonial possible. L'huile de palme methanolysée. *France Energet*. 1945. N11-12. 332.
6. Rashid M.M. Performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with palm, jatropha and moringa oil methyl ester. *Industrial crops and products*. 2016. N79. 70-75.
7. Чибанда Э.К., Славущий В.М., Курапин А.В., Шкумат Е.А. Анализ возможностей использования пальмового масла как возобновляемого энергоресурса в качестве топлива для дизелей. Волгоград: Волгоградский государственный технический университет. 2016. С. 51-56.
8. Mosarof M.H., Kalam M.A., Masjuki H.H., Ashraful A.M., Rashed M.M., Imdadul H.K., Monirul I.M. Implementation of Palm biodiesel based on economic aspects, performance, emission, and wear characteristics. *Energy conversion and Management*. 2015. N105. 617-629.
9. Ощепков П.П., Адедожа Адегбенро С. Альтернативное топливо для автотранспорта Нигерии на основе пальмового масла // *Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования*. 2017. Т. 18. N4. С. 437-444.
10. О'Брайен Р. Жиры и масла. Производство, состав и свойства, применение. пер. с англ. СПб.: Профессия. 2007. 752 с.
11. Ranzi E., Frassoldati A., Stagni A., Pelucchi M., Cuoci A., Faravelli T. Reduced kinetic schemes of complex reaction systems: Fossil and biomass-derived transportation fuels. *International Journal of Chemical Kinetics*. 2014. Vol. 46. N9. 512-542.
12. Saggese Chiara, Frassoldati Alessio, Cuoci Alberto, Faravelli Tiziano, Ranzi Eliseo. A lumped approach to the kinetic modeling of pyrolysis and combustion of biodiesel fuels. *Proceedings of the Combustion Institute*. 2013. N34. 427-434.
13. Deminsky M., Chorkov V., Belov G., Cheshigin I., Knizhnik A., Shulakova E., Shulakov M., Iskandarova I., Alexandrov V., Petrusev A., Kirillov I., Strelkova M., Umanski S., Potapkin B. Chemical Workbench – integrated environment for materials science. *Computational Materials Science*. 2003. Vol. 28. Iss. 2. 169-178.
14. Ranzi E., Frassoldati A., Grana R., Cuoci A., Faravelli T., Kelley A.P., Law C.K. Hierarchical and comparative kinetic modeling of laminar flame speeds of hydrocarbon and oxygenated fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2012. N38(4). 468-501.
15. Faravelli T., Frassoldati A., Ranzi E. Kinetic modeling of the interactions between NO and hydrocarbons in the oxidation of hydrocarbons at low temperatures. *Combustion and Flame*. 2003. N132(1-2). 188-207.
16. Frassoldati A., Faravelli T. and Ranzi E. Kinetic modeling of the interactions between NO and hydrocarbons at high temperature. *Combustion and Flame*. 2003. N135. 97-112.

## REFERENCES

1. Prognoz razvitiya energetiki mira i Rossii 2016 [Forecast of power engineering development in the world and Russia 2016]. ed. by A.A. Makarova, L.M. Grigor'yev, T.A. Mitrova. Moscow: INEI RAN pri Pravitel'stve RF. 2016. 200 (In Russian).
2. Sanjid A. Impact of palm, mustard, waste cooking oil and calophyllum inophyllum biofuels on performance and emission of CI engine. *Renewable and sustainable energy reviews*. 2013. N27. 664-682 (In English).
3. Shumilov K., Transportnaya infrastruktura respubliki Nigeriya [Transport Infrastructure of the Republic of Nigeria]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie*. 2004. N7. 18-22 (In Russian).
4. Markov V.A., Devyanin S.N., Zykov S.A., Gaydar S.M. Biotopliwa dlya dvigateley vnutrennego sgoraniya [Biofuels for internal combustion engines]. Moscow: NITS "Inzhener" (Soyuz NIO). 2016. 292 (In Russian).
5. Loury M. Un nouveau carburant colonial possible. L'huile de palme methanolysée. *France Energet*. 1945. N11-12. 332 (In French).
6. Rashid M.M. Performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with palm, jatropha and moringa oil methyl ester. *Industrial crops and products*. 2016. N79. 70-75 (In English).
7. Chibanda E.K., Slavutskiy V.M., Kurapin A.V., Shkumat E.A. Analiz vozmozhnostey ispol'zovaniya pal'movogo masla kak vozobnovlyayemogo energoresursa v kachestve topliva dlya dizeley [Analyzing the prospects of using palm oil (a renewable energy source) as a fuel for diesel engines]. Volgograd: Volgogradskiy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet. 2016. 51-56 (In Russian).
8. Mosarof M.H., Kalam M.A., Masjuki H.H., Ashraful A.M., Rashed M.M., Imdadul H.K., Monirul I.M. Implementation of Palm biodiesel based on economic aspects, performance, emission, and wear characteristics. *Energy conversion and Management*. 2015. N105. 617-629 (In English).
9. Oshchepkov P.P., Adedozha Adegbenro S. Al'ternativnoe toplivo dlya avtotransporta Nigerii na osnove pal'movogo masla [Alternative fuel based on palm oil for motor vehicles of Nigeria]. *Vestnik RUDN. Seriya: Inzhenernye issledovaniya*. 2017. Vol. 18. N4. 437-444 (In Russian).
10. O'Brayen R. Zhiry i masla. Proizvodstvo, sostav i svoystva, primeneniye [Fats and oils. Production, composition and properties, application]. Translated from English. Saint Petersburg: Professiya. 2007. 752 (In Russian).
11. Ranzi E., Frassoldati A., Stagni A., Pelucchi M., Cuoci A., Faravelli T. Reduced kinetic schemes of complex reaction systems: Fossil and biomass-derived transportation fuels. *International Journal of Chemical Kinetics*. 2014. Vol. 46. N9. 512-542 (In English).
12. Saggese Chiara, Frassoldati Alessio, Cuoci Alberto, Faravelli Tiziano, Ranzi Eliseo. A lumped approach to the kinetic modeling of pyrolysis and combustion of biodiesel fuels. *Proceedings of the Combustion Institute*. 2013. N34. 427-434 (In English).
13. Deminsky M., Chorkov V., Belov G., Cheshigin I., Knizhnik A., Shulakova E., Shulakov M., Iskandarova I., Alexandrov V., Petrusev A., Kirillov I., Strelkova M., Umanski S., Potapkin B. Chemical Workbench – integrated environment for materials science. *Computational Materials Science*. 2003. Vol. 28. Is. 2. 169-178 (In English).
14. Ranzi E., Frassoldati A., Grana R., Cuoci A., Faravelli T., Kelley A.P., Law C.K. Hierarchical and comparative kinetic modeling of laminar flame speeds of hydrocarbon and oxygenated fuels. *Progress in Energy and Combustion Science*. 2012. N38(4). 468-501 (In English).
15. Faravelli T., Frassoldati A., Ranzi E. Kinetic modeling of the interactions between NO and hydrocarbons in the oxidation of hydrocarbons at low temperatures. *Combustion and Flame*. 2003. N132(1-2). 188-207 (In English).
16. Frassoldati A., Faravelli T. and Ranzi E. Kinetic modeling of the interactions between NO and hydrocarbons at high temperature. *Combustion and Flame*. 2003. N135. 97-112 (In English).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 27.05.2019  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 27.05.2019

Статья принята к публикации 01.07.2019  
The paper was accepted  
for publication on 01.07.2019

# ПОДПИСКА 2020

**КАК  
подписаться  
на журнал?**



## ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

Подписку на первое полугодие 2020 г. можно оформить  
до 20 декабря включительно  
в почтовых отделениях связи  
по каталогу агентства «РОСПЕЧАТЬ»  
Подписной индекс **35825**

**ЖУРНАЛ  
«СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ МАШИНЫ И ТЕХНОЛОГИИ»  
ВКЛЮЧЕН В ПЕРЕЧЕНЬ ВАК**

Редакция журнала:

Тел.: 8 (499) 174-88-11, 8 (499) 174-89-01

[www.vimsmit.com](http://www.vimsmit.com)

e-mail: [smit@vim.ru](mailto:smit@vim.ru)