

ISSN 2073-7599 (print)
ISSN 2618-6748 (online)

Сельскохозяйственные МАШИНЫ и ТЕХНОЛОГИИ

AGRICULTURAL MACHINERY AND TECHNOLOGIES

Том 14 N2 2020

Vol. 14 N2 2020

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

SCIENTIFIC-THEORETICAL JOURNAL

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОСНАЩЕНИЕ СЕЛЕКЦИИ И СЕМЕНОВОДСТВА

TECHNICAL EQUIPMENT OF BREEDING AND SEED PRODUCTION

СОЛНЕЧНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

SOLAR POWER PLANTS

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНЫХ
МЕХАНИЗМОВ**

IMPROVEMENT OF LIFTING AND TRANSPORTING MECHANISMS







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 – Александра Чепелева

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

© ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2020

Отпечатано в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
Формат 205 x 290 мм
Подписано в печать 24.06.2020
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

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 (ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА)

доктор технических наук, профессор, академик 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. ФС77-68608
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 –
Aleksandra Chepeleva

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

**Printed by FSAC VIM
Russian Academy of Science**

The format is 205 × 290 mm
The issue was submitted 24.06.2020
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 Sciences**

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 Physical and Technical Institute 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

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 (DEPUTY EDITOR)

Dr.Sc.(Eng.), Professor, 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. Chernov

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



ЭКОЛОГИЯ

- Бобыль А.В., Коноплев Г.А., Лин Х.Х., Эрк А.Ф.**
Моделирование солнечной электростанции для
электрификации сельских районов Мьянмы . . 4

ТЕХНИКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

- Сидоров С.А., Лобачевский Я.П.,
Миронов Д.А., Золотарев А.С.**
Влияние геометрических и установочных
параметров плужных рабочих органов на
агротехнические и силовые характеристики . 10
- Мударисов С.Г., Рахимов З.С.**
Влияние технических средств и технологий
на механическую эрозию почвы на склонах . 17
- Джибилов С.М., Гулуева Л.Р.**
Механизированный способ удаления
и утилизации камней на горных склонах . . . 23
- Жураев Ф.У., Мусулманов Ф.Ш.**
Применение техники и технологии
для промывки сильнозасоленных почв 29

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

- Новиков Э.В., Алтухова И.Н., Басова Н.В.**
Анализ показателей качества технической
конопли, линии для ее переработки
и однотипной пеньки. 34

ТЕХНИКА ДЛЯ РАСТЕНИЕВОДСТВА

- Камбулов С.И., Пархоменко Г.Г., Божко И.В.,
Бойко А.А.**
Результаты экспериментальных исследований
сеялки для рядового посева СЗД-4,0 41
- Ракутько С.А., Ракутько Е.Н., Аюпов М.Р.**
Применение комбинированного облучения в
светокультуре 46

ПОСЛЕУБОРОЧНАЯ ОБРАБОТКА ЗЕРНА

- Пахомов В.И., Брагинцев С.В., Бенова Е.В.,
Бахчевников О.Н., Подлесный Д.С.**
Травмирование зерна при низкоскоростном
соударении с поверхностями рабочих органов
подъемно-транспортных машин 53
- Савиных П.А., Сычугуов Ю.В., Казаков В.А.**
Разработка и исследования воздушно-решетной
зерноочистительной машины МЗУ-20Д 59

УДОБРЕНИЯ

- Сорокин К.Н.**
Анализ работы и совершенствование техноло-
гических линий по производству органических
удобрений. 67

ECOLOGY

- Bobyl A.V., Konoplev G.A., Lin H.H., Erk A.F.**
Simulation of photovoltaic power system
for rural electrification in Myanmar 4

MACHINERY FOR SOIL CULTIVATION

- Sidorov S.A., Lobachevskiy Ya.P., Mironov D.A.,
Zolotarev A.S.**
Influence of geometric and setup parameters
of the arrangement of working tools
on agrotechnical and power characteristics. . . . 10
- Mudarisov S.G., Rakhimov Z.S.**
Impact of the technical means and techno-
logies on mechanical soil erosion on slopes . . . 17
- Dzhibilov S.M., Gulueva L.R.**
Mechanized method for the removal
and disposal of stones on mountain slopes 23
- Zhuraev F.U., Musulmanov F.Sh.**
Equipment and technology application
for washing highly saline soils 29

NEW MACHINERY AND TECHNOLOGIES

- Novikov E.V., Altukhova I.N., Basova N.V.**
Analysis of industrial hemp quality indicators,
a line for its processing and hemp short 34

MACHINERY FOR PLANT GROWING

- Kambulov S.I., Parkhomenko G.G., Bozhko I.V.,
Boyko A.A.**
Results of experimental studies of the seed
drill for row sowing SZD-4.0 41
- Rakutko S.A., Rakutko E.N., Ayupov M.R.**
Use of combined irradiation
in grow light 46

POSTHARVEST HANDLING OF GRAIN

- Pakhomov V.I., Braginetz S.V., Benova E.V.,
Bakhchevnikov O.N., Podlesnyy D.S.**
Grain damage in low-speed collision with
the surfaces of the hoisting-and-transport
machines working parts. 53
- Savinykh P.A., Sychugov YU.V., Kazakov V.A.**
Development and research of the MZU-20D
air-sieve grain cleaning machine. 59

FERTILIZERS

- Sorokin K.N.**
Operation analysis and improvement of
technological lines for the organic fertilizers
production 67

Simulation of Photovoltaic Power System for Rural Electrification in Myanmar

Alexander V. Bobyl¹,
Dr.Sc.(Phys.-Math.), full professor,
e-mail: bobyl@theory.ioffe.ru;
Georgiy A. Konoplev²,
Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: gakonoplev@etu.ru;

Htein Htein Lin²,
master student, e-mail: hteinhteinlin95@gmail.com;
Andrey F. Erk³,
Ph.D.(Eng.), senior research fellow,
e-mail: 4666866@bk.ru

¹Ioffe Institute, Saint Petersburg, Russian Federation;

²Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI", Saint-Petersburg, Russian Federation;

³Institute of Engineering and Environmental Problems – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. In the recent years substantial growth of the demand for electricity took place in Myanmar; energy generation by existing sources (mainly hydropower) is not enough to provide constantly increasing consumption. The problem is most obvious in rural areas (more than 61 percent of the population) where grid extension is not justified economically whereas the cost of electricity produced by autonomous diesel generators is extremely high. (*Research purpose*) The purpose of this research is the evaluation of economic and technical feasibility of small off-grid (standalone) photovoltaic (PV only) and hybrid photovoltaic-diesel (PV-diesel) power generation systems providing rural household electricity consumption in Myanmar. (*Materials and methods*) Computer simulation using Homer pro simulation software was used. Three different load scenarios were envisaged – low, medium and high (1; 6 and 16 kilowatt-hour per day). Simulation was done for Tha Ngar village tract with a population of about 3,000 people, which is typical in Myanmar. (*Results and discussion*) The results of the simulation reveal that the levelized cost of energy (LCOE) for optimal hybrid (PV-diesel) systems lies in the range 0.37-0.51 US\$, for PV only systems – 0.46-0.49 US\$. It proves their economic feasibility compared to conventional diesel generator systems with LCOE 0.56-1.56 US\$ boosted by high fuel prices in remote areas (2-3 times higher than urban price). For the high load scenario hybrid systems are more preferable, for low load (night time lighting only) PV only systems may be more effective. (*Conclusions*) It can be concluded that implementing solar energy is not only environmentally friendlier but also economically justified approach for providing household electricity demands of rural settlements in Myanmar without constructing expensive grid extensions.

Keywords: photovoltaics, off-grid solar systems, rural electrification, Myanmar, computer simulation, feasibility study.

■ **For citation:** Bobyl A.V., Konoplev G.A., Lin H.H., Erk A.F. Simulation of photovoltaic power system for rural electrification in Myanmar. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N2. 4-9 (In English). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-4-9.

Моделирование солнечной электростанции для электрификации сельских районов Мьянмы

Александр Васильевич Бобыль¹,
доктор физико-математических наук,
профессор, e-mail: bobyl@theory.ioffe.ru;
Георгий Асадович Коноплев²,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: gakonoplev@etu.ru;

Хтеин Хтеин Лин²,
студент-магистрант,
e-mail: hteinhteinlin95@gmail.com;
Андрей Федорович Эрк³,
кандидат технических наук, старший научный
сотрудник, e-mail: 4666866@bk.ru

¹Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Российская Федерация;

²Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Российская Федерация;

³Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Реферат. В последние годы существенный рост потребления электроэнергии в Мьянме уже не может быть удовлетворен за счет существующих источников генерации, главным образом гидроэлектростанций. Особенно остро проблема стоит в

сельских районах, где проживает более 61 процента населения страны: подключение к централизованным электрическим сетям экономически не оправдано, а стоимость электроэнергии, вырабатываемой автономными дизельными генераторами, очень высока. (*Цель исследования*) Оценить технико-экономическую целесообразность создания и использования солнечных и гибридных солнечно-дизельных малых автономных электростанций для обеспечения базовых потребностей домохозяйств в сельских поселениях Мьянмы. (*Материалы и методы*) Использовали метод компьютерного моделирования в специализированной программе *Homer pro*. Проанализировали три сценария энергопотребления: низкий – 1 киловатт-час в день, средний – 6 киловатт-часов и высокий – 16 киловатт-часов. Моделирование проводили на примере типичного для страны сельского поселения Та Нгар с населением 3000 человек. (*Результаты и обсуждение*) Определили, что нормированная стоимость электроэнергии для оптимизированных гибридных систем лежит в диапазоне 0,37-0,51 доллара США, для чисто фотовольтаических электростанций – 0,46-0,49 доллара. Выявили более высокую экономическую эффективность гибридных систем по сравнению с дизельными генераторами, для которых нормированная стоимость электроэнергии составляет 0,56-1,56 доллара США с учетом сложившихся цен на топливо в отдаленных районах страны, которые превышают городские цены в 2-3 раза. Показали, что при высоком энергопотреблении предпочтительнее использование гибридных систем, для малого потребления (только ночное освещение) более эффективны чисто фотовольтаические. (*Выводы*) Доказали, что для удовлетворения потребностей в электроэнергии сельских поселений в Мьянме целесообразно использование солнечной энергии, что обусловлено не только экологически, но и экономически, так как исключает необходимость дорогостоящего подключения к электрическим сетям.

Ключевые слова: фотовольтаика, автономные солнечные электростанции, электрификация сельских районов, Мьянма, компьютерное моделирование, технико-экономическое обоснование.

■ **Для цитирования:** Бобыль А.В., Коноплев Г.А., Лин Х.Х., Эрк А.Ф. Моделирование солнечной электростанции для электрификации сельских районов Мьянмы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №2. С. 4-9. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-4-9.

Myanmar, one of the Southeast Asian Nations is located between latitudes 09°32'N and 28°31'N and longitudes 92°10'E and 101°11'E with an area of 677,000 square kilometers with population over 52 million which expected to grow to 64 million, while the average per capita electricity demand rises from 0.3 to 0.7 MWh before 2050 [1]. Electricity demand of the country has been increasing every year especially in rural area. Therefore, almost all possible energy sources should be considered for Myanmar. Myanmar electricity production capacity is only around 3000 MW which depends mainly on hydropower. Natural gas, coal and other energy sources are also used.

Rural electrification become a major problem for Myanmar [2]. According to the data of Ministry of Electricity and Energy, 2020, only 50% of total households in Myanmar have access to electricity and most of them are located in urban area. In Myanmar, 70% of total population lives in rural area so electricity access to them is very important [3]. Moreover, 61% of the country population lives in village tracts whose have a population just between 1000 and 10000 and approximately 10346 (76%) of total 13620 villages tracts have that kind of population (*Table 1*).

The table clearly indicated that how rural electrification is very important in Myanmar. Population data is also one of the most important data of GIS for preplanning solar energy such as choosing priorities. According to GIS data from Myanmar Information Management Unit in 2019, some villages of Myanmar have been classified as "Hard to reach villages". Solar energy may be suitable for those places. Tha Nga village is also one of these kinds of

State / Region	Villages (1000-10000 people)	Total population
Kachin State	224	667,023
Kayah State	56	102,973
Kayin State	308	1,034,871
Chin State	130	202,095
Sagaing Region	1467	4,025,041
Tanintharyi Region	216	785,379
Bago Region	1234	3,495,704
Magway Region	1149	2,989,953
Mandalay Region	1194	3,475,107
Mon State	329	1,189,042
Rakhine State	641	1,480,655
Yangon Region	515	1,459,406
Shan State	982	3,066,365
Ayeyarwady Region	1729	5,888,948
Nay Pyi Taw*	172	665,855
Total	10346 (76%)	30,528,417(61%)
*Capital, Union territory of Myanmar		

villages that have many challenges to be electrified such as deficiency in electric transmission lines, bad transportation etc. For example, villages in less densely populated area which are located very far away from urban centers are usually considered not cost-effective for grid connections. So off-grid, mini-grid methods have to be con-

sidered and Solar Photovoltaic (PV) can be a perfect solution in this case taking into account high solar energy resources in Myanmar [4, 5].

The highest Global Horizontal Irradiance (GHI) is identified in the central, lowland area of the country, where average daily totals reach yearly total of 1900 kWh/m² (average daily total up to 5.2 kWh/m²) or higher. Further north, GHI values falls between 1400 and 1600 kWh/m² (average daily total from 3.8 kWh/m² up to 4.4 kWh/m²). Minimum GHI values in northernmost part of the country are lower than 1300 kWh/m² (average daily total approx. 3.6 kWh/m²), yet the solar resource in these areas is still sufficiently high.

According to the map (Fig. 1), the average yearly total of specific PV power production varies between 1150 kWh/kWp (equals to average daily total of about 3.2 kWh/kWp) and 1600 kWh/kWp (about 4.4 kWh/kWp daily) with high values in the central region (Fig. 1). In mountains, the power production is lower by up to 20% or even more, due to terrain shading (Suri M. et al., 2017).

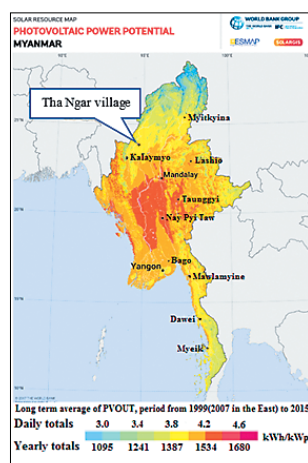


Fig. 1. Solar photovoltaic potential in Myanmar and site location

According to the national electrification plan, PV will also be one of the important energy sources in Myanmar. It is aimed to reach 5% of total electricity production in 2030. First Myanmar PV solar power plant, 170 MW will start production in summer, 2020.

RESEARCH PURPOSE is the evaluation of economic and technical feasibility of small off-grid (standalone) photovoltaic (PV only) and hybrid photovoltaic-diesel (PV-diesel) power generation systems providing rural household electricity consumption in Myanmar.

MATERIALS AND METHODS. In applying solar energy system in rural area, there are lots of things have to be considered to predict the economic feasibility of PV installations. The best way to make such predictions is preliminary computer simulations with dedicated software tools (Homer pro, RETScreen, etc.) [6, 7]. We evaluated economic and technical feasibility of off-grid (standalone) PV systems for a Village Tract of Myanmar called Tha Ngar using Homer pro software. Its location is 23°58'25.0"

N 94°36'24.5" E. It has population of 2959 living in 439 households. Tha Ngar is 10 km away from the nearest road and 68 km away from grid which will make it to be the last priority in national electrification plan.

For simulation we used climate data provided by NASA. Daily solar radiation ranged from 3.7 to 5.6 kWh/m²/d. Wind speed was between 0.8 and 1.2 m/s (Fig. 2). Relative humidity was min 39% and max 66%. Air temperature was minimum 17°C in January and maximum 28.9°C in June.

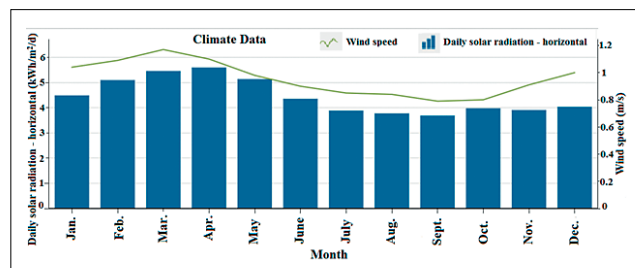


Fig. 2. Daily solar radiation and wind speed at Tha Ngar village

Three different load scenarios which match the real needs and situations of rural area of Myanmar were prepared (Tables 2-4).

Table 2				
LOW CONSUMPTION				
Electrical appliances	Quantity	Usage, h/day	Power, watt	Total daily, watt-hour
Incandescent	2	6	60	720
Compact fluorescent	1	12	11	132
Portable lamp	2	6	20	240
Total	—	—	—	1092

Table 3				
MEDIUM CONSUMPTION				
Electrical appliances	Quantity	Usage, h/day	Power, watt	Total daily, watt-hour
Incandescent	4	12	60	2880
Compact fluorescent	2	12	11	264
Portable lamp	2	6	20	240
Mobile phone	1	6	12	72
TV	1	3	60	180
Refrigerator	1	24	100	2400
Total	—	—	—	6036

HIGH CONSUMPTION				
Electrical appliances	Quantity	Usage, h/day	Power, watt	Total daily, watt-hour
Medium consumption	–	–	–	6036
Average modern stove	1	3	1500	4500
Air conditioner	1	3	1000	3000
Water pump	1	3	750	2250
Laptop	1	6	70	420
Total	–	–	–	16,206

Low consumption (LC) is night only lighting purpose, generally from 4 to 7 am and 6 to 9 pm (Table 2). Total daily consumption is around 1.092 kWh/day. In most rural village, the minimum load hours can be reduced to 6 hours daily. In village life, it is still “early to bed and early to rise”. They wake up before 4 am and prepare for their work. So, this period is important for them to get light. Medium consumption (MC) aims for more than lighting purpose but still prefer small load. Load is 6.036 kWh/day (Table 3). High consumption (HC) will be functional household usage with 16.206 kWh/day (Table 4). But it still can be said not much load comparing to urban usage.

These scenarios are flexible and can be change depending on regions and needs. These load scenarios were calculated based on information taken from some research and surveys in Myanmar (Myint A.K., Ya A.Z., Ohn S.S., Aung S.M., 2018).

Using Homer pro, assessment tool for hybrid renewable electric generation systems, analyzing was done. Two systems, PV only and Hybrid (PV-Diesel), were compared for each scenario. Generally, a PV system should have some backup generation because there are certain conditions when PV generation can be unavailable (due to weather, maintenance etc.). But here it was simulated without a backup generator in order to compare costs for PV only and Hybrid systems. Moreover, in some cases, such as LC, where load is very small and only aim for lighting purpose thus it is also possible not to use backups like a diesel generator.

Moreover, it is important to apply best parameters; system components and design, their costs and efficiency which have to be similar to the real costs on the local market (in this case, Myanmar). Depending on the input data, the simulation results can be different, but they were always rechecked by comparing with other external data.

RESULTS AND DISCUSSION. In total six possible system options, two different types (PV only and hybrid) for each load consumption scenario were simulated.

The system architecture requires to meet three load scenarios (LC, MC, and HC) in the most optimal way

SYSTEM ARCHITECTURE REQUIREMENT, kW			
Consumption system	Hybrid		PV only
	Diesel	PV	
Low	0.35 (0.5)	0.118	0.70
Medium	1.00	0.70	3.11
High	4.50	2.00	8.50

(Table 5). More solar panels were needed in the PV only system. It was also possible to reduce the number of solar panels that we used in Hybrid systems just by increasing time of using diesel generator when fuel price become lower and advantage was that it was no need to increase diesel generator system capacity (same generators). As maximum, 8.5 kW PV panels were needed to cover total usage of 16 kWh/day in HC scenario of PV only system.

Even in the hybrid system, diesel generator output should be lower than PV output of that system in order to get lower costs for high fuel price. Simulation result recommended less diesel usage even in hybrid system because of its cost (initial cost, fuel cost). This is because generally, in rural area of Myanmar the fuel cost always more than the urban price. In places where transportation conditions are very bad, the fuel price usually can be double or even triple of urban price.

We can see effects of fuel price and nominal discount rate (Fig. 3). Lower nominal rate and higher fuel price made PV system more desirable. At many rural places of Myanmar, the fuel cost is more than urban price. Therefore, PV system will be more preferable for rural area including this village.

Another important fact to be considered was levelized cost of energy (LCOE). This indicator shows range from 0.369 US\$ to 0.511 US\$ for the Hybrid system and range from 0.46 US\$ to 0.49 US\$ for the PV only system (Fig. 4). Both systems have better LCOE than “diesel only” system which was still more expensive even at the urban fuel price. The price of fuel in this villages was 1.34 \$/L which was double of the urban price. This price also depended on many factors such as difficult transportation, importing components, etc. Other than that, one important fact was energy storage cost.

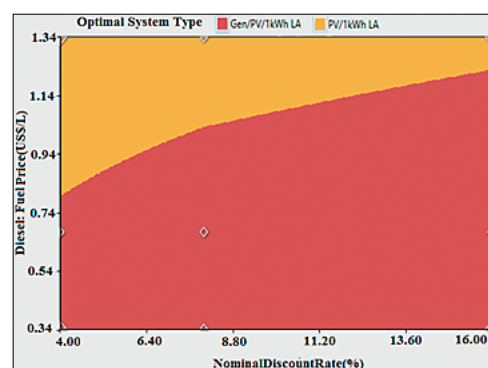


Fig. 3. Optimal system type depending on fuel price

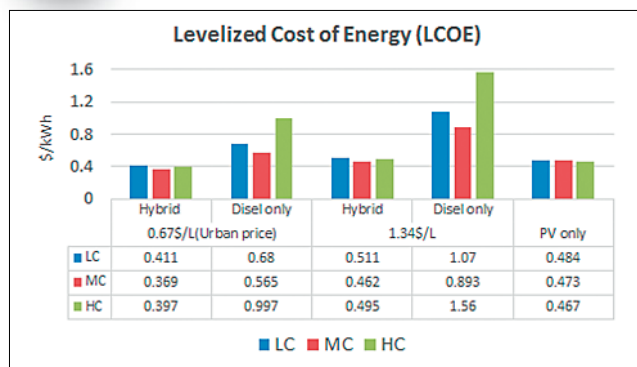


Fig. 4. Levelized cost of energy for different generation structures

In Myanmar, lead acid batteries are still being used as energy storage for PV system despite the fact that they are expensive and have some failures such as voltage drops, very short life (sometimes less than 20 months) [3]. The price in this simulation is 180 US\$/kWh with replacement cost 145 US\$/kWh. But now it is recommended to use lithium-ion batteries which have more life time and better quality than lead acid and whose price has been falling (in 2020, the price estimated to drop around 124.24 US\$/kWh). This will definitely have positive effect on LCOE. With reducing battery and PV cost LCOE of PV can reach around 0.2 US\$ per kWh or even lower.

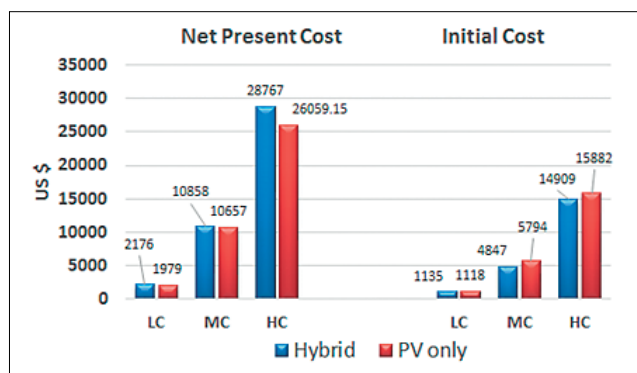


Fig. 5. Net present and initial cost comparisons

Net present cost of all PV only scenarios were cheaper than that of Hybrid systems because of high fuel price in rural areas while initial cost of Hybrid systems was cheaper than PV only except LC scenario (Fig. 5). Overall, we can conclude that PV systems (both PV only and Hybrid) are cost effective and could be implemented as an economically justified solution for electrification of rural area in Myanmar.

For further alternative ways related to PV although not analyzed in this paper, there are also good potential for other solar hybrid systems (solar + wind, solar + biomass) [8]. As reported by Asian development bank, not only off-grid system but also mini-grid and on-grid system may be considered [9, 10].

CONCLUSION. According to the simulation results, PV only systems are a little more expensive than hybrid systems in terms of initial cost. Initial cost for three scenarios

of PV only are 1118 \$, 5794 \$, and 15882 \$ while those of hybrid are 1135 \$, 4847 \$, and 14909 \$ respectively. We should also be aware that initial cost of hybrid does not include the cost of fuel that will be consumed in total system life time. Both PV only and Hybrid costs are almost the same because the amount of PV panels used in both systems also almost the same. PV only may be a little cheaper than Hybrid but Hybrid has an advantage that it can be more reliable. For example, some unexpected days where PV output largely decrease due to weather. But both systems were surely better than ones depending only on diesel generators.

Because in this research only one location has been considered, it was difficult to cover details of all rural areas in Myanmar. But most fundamentals and backgrounds are similar so that we can adopt this for considering other villages or rural settlements of Myanmar in future. Moreover, in rural electrification, it can be implemented not only for household usage but also for others such as worship places (pagodas, monasteries), educational institutions (mainly primary schools), small businesses, agriculture related usage (irrigation) etc. Almost all villages in Myanmar have above places at least one or more and they also need electricity.

PV systems can be recommended as one of the reliable energy sources of Myanmar and other regions with close climatic and socio-economic conditions. It will be more suitable in future because of price falling and technologies development.

Acknowledgement

Special thanks to Dmitriy Bogdanov and Christian Breyer for allowing us to use presentation "Global 100% RE System: Southeast Asia – Myanmar".

REFERENCES

1. Bogdanov D., Farfan J., Sadovskaia K., et al. Radical transformation pathway towards sustainable electricity via evolutionary steps. *Nature Communications*. 2019. Vol. 10. 1077 (In English).
2. Ismail et al. A.M. et al. Progress of solar photovoltaic in ASEAN countries: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015. Vol. 48. 399-412 (In English).
3. Kim H., Jung T.Y. Independent solar photovoltaic with Energy Storage Systems (ESS) for rural electrification in Myanmar Renewable and Sustainable. *Energy Reviews*. 2018. Vol. 82. 1187-1194 (In English).
4. Newcombe A., Ackom E.K. Sustainable solar home systems model: Applying lessons from Bangladesh to Myanmar's rural poor. *Energy for Sustainable Development*. 2017. Vol. 38. 21-33 (In English).
5. Janjai S. et al. Satellite-derived solar resource maps for Myanmar. *Renewable Energy*. 2013. Vol. 53. 132-140 (In English).
6. Yuan J. et al. A method to estimate the potential of rooftop photovoltaic power generation for a region. *Urban Climate*. 2016. Vol. 17. 1-19 (In English).
7. Siala K., Stich J. Estimation of the PV potential in ASEAN with a high spatial and temporal resolution. *Renewable Energy*. 2016. Vol. 88. 445-456 (In English).
8. Sandar L., Aung Z.Ya. Solar/Wind/Desel Hybrid Energy System with Battery Storage for Rural Electrification. *International Journal of Scientific Engineering and Technology Research*. 2014. Vol. 3. N10. 2172-2176 (In English).
9. Toktarova A. et al. Long term load projection in high resolution for all countries globally. *Electrical Power and Energy Systems*. 2019. Vol. 11. 160-181 (In English).
10. Gulagi A., Bogdanov D., Breyer C. A Cost Optimized Fully Sustainable Power System for Southeast Asia and the Pacific Rim. *Energies*. 2017. Vol. 10. 583 (In English).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

**Статья поступила в редакцию 20.02.2020
The paper was submitted
to the Editorial Office on 20.02.2020**

**Статья принята к публикации 27.05.2020
The paper was accepted
for publication on 27.05.2020**

Влияние геометрических и установочных параметров плужных рабочих органов на агротехнические и силовые характеристики

Сергей Алексеевич Сидоров,
доктор технических наук,
главный научный сотрудник;
Яков Петрович Лобачевский,
академик Российской академии наук,
доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник;

Денис Александрович Миронов,
кандидат технических наук, старший научный
сотрудник, e-mail: mironov-denis87@mail.ru;
Андрей Сергеевич Золотарев,
инженер

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Провели анализ влияния геометрических и установочных параметров плужных рабочих органов на агротехнические показатели и тяговое сопротивление плуга. (*Цель исследования*) Определить агротехнические показатели качества обработки почвы в зависимости от типа отвалов и обосновать выбор оптимального отвала для суглинистых почв. (*Материалы и методы*) К агротехническим показателям отнесли крошение, оборот пласта, степень заделки растительных остатков. Увеличение комковатости при вспашке суглинистых почв происходит с ростом содержания глинистых частиц. Угол установки плужного корпуса относительно стенки борозды изменяли посредством выкручивания среднего болта крепления стойки корпуса плуга к раме и постановкой дополнительных шайб на одно из двух оставшихся болтовых соединений. Для экспериментов по влиянию угла наклона лемешно-отвальной поверхности относительно стенки борозды плужные корпуса устанавливали под углами от 30 до 55 градусов. (*Результаты и обсуждение*) Установили, что при углах 30-35 градусов, диаметр комков возрастал до значений, превышающих допустимую норму на 10-20 процентов. Увеличение угла более 45 градусов снизило диаметр комков до 10-30 миллиметров. С увеличением угла до 50-55 градусов наблюдался переход от стружки отрыва к стружке сдвига. Определили тяговое сопротивление плуга с различными типами отвалов. Выявили идентичность результатов аналитического расчета и экспериментальных данных в полевых испытаниях с использованием динамометра. Тяговое сопротивление плуга снижается при переходе от использования цилиндрических отвалов к винтовым. (*Выводы*) Определили, что с увеличением угла установки лемешно-отвальной поверхности к стенке борозды снижается размер почвенных фрагментов, а стружка отрыва переходит в стружку сдвига. Доказали, что на суглинистых почвах культурные и полувинтовые отвалы характеризуются лучшими агротехническими показателями. **Ключевые слова:** плуг, отвал, лемех, суглинистые почвы, тяговое сопротивление, крошение почвенного пласта, оборот пласта, заделка растительных остатков.

■ **Для цитирования:** Сидоров С.А., Лобачевский Я.П., Миронов Д.А., Золотарев А.С. Влияние геометрических и установочных параметров плужных рабочих органов на агротехнические и силовые характеристики // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №2. С. 10-16. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-10-16.

Influence of Geometric and Setup Parameters of the Arrangement of Working Tools on Agrotechnical and Power Characteristics

Sergey A. Sidorov,
Dr.Sc.(Eng.), chief research engineer;
Yakov P. Lobachevskiy,
member of RAS, Dr.Sc.(Eng.), professor,
chief research engineer;

Denis A. Mironov,
Ph.D.(Eng.), senior research engineer;
Andrey S. Zolotarev,
engineer

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper contains the analysis results of the influence of geometric and setup parameters of the plow working tools on agrotechnical indicators and traction resistance of a plow. (*Research purpose*) To determine the agrotechnical indicators of tillage

quality depending on the type of a plow moldboard and determine the optimal moldboard for loamy soils. (*Materials and methods*) Agrotechnical indicators included crumbling, soil layer turnover, and the incorporation (embedding) degree of plant residues. More intensive lumpiness is observed as the content of clay particles increases. The angle of plow body setup relative to the furrow walls is changed using the middle bolts securing the plow body rack of the frame and installing additional washers on one of the two remaining bolted joints. For experiments on the influence of the inclination angle of the plow-bottom surface relative to the furrow wall, the plow bodies were located at angles of 30 to 55 degrees. (*Results and discussion*) It has been established that at angles of 30-35 degrees, the diameter of clods increases to values exceeding the permissible norm by 10-20 percent. An increase in the angle of more than 45 degrees reduced the diameter of clods to 10-30 millimeters. With an increase in angle to 50-55 degrees, shearing chips changed into shifting chips. The authors determined traction resistance of plows with various types of moldboards and identified the results of analytical calculations and experimental data in field trials using a dynamometer. Traction resistance of the plow decreases as cylinder moldboards are substituted with screw (auger-type) ones. (*Conclusions*) It has been determined that as the angle of plow body setup relative to the furrow walls increases, the size of soil fragments decrease, and shearing chips change into shifting chips. It has been proved that general-purpose and half-screw moldboards demonstrate the best agrotechnical indicators on loamy soils

Keywords: plow, moldboard, ploughshare, loamy soils, traction resistance, soil layer destruction, soil layer turnover, incorporation of plant residues.

■ **For citation:** Sidorov S.A., Lobachevskiy Ya.P., Mironov D.A., Zolotarev A.S. Vliyanie geometricheskikh i ustanovochnykh parametrov pluzhnykh rabochikh organov na agrotekhnicheskie i silovye kharakteristiki [Influence of geometric and setup parameters of the arrangement of working tools on agrotechnical and power characteristics]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N2. 10-16 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-10-16.

На качество агротехнических показателей, таких как крошение и оборот почвенного пласта, заделка растительных остатков, влияют геометрические параметры, заложенные в конструкции рабочих органов, осуществляющих подрезание и перенос почвенного пласта по рабочей поверхности плужного корпуса, и установочные параметры их расположения относительно дна и стенки образующейся при обработке почвы борозды. Влияют они и на тяговое сопротивление.

Цель исследования – определить агротехнические показатели качества обработки почвы при изменении геометрических параметров в конструкции рабочих органов и установочных показателей их расположения относительно дна и стенки борозды; обосновать выбор типа отвала для суглинистых почв.

Материалы и методы. К агротехническим показателям качества при обработке почвы были отнесены крошение, оборот пласта, степень заделки растительных остатков.

Крошение напрямую связано с расположением лемешно-отвальной поверхности рабочих органов и установкой лемеха по отношению к стенке борозды. Степень крошения определяют по среднему диаметру почвенных фрагментов. На крошение большое влияние оказывают также физико-механические свойства почвы, ее твердость, влажность [1]. Лучшие показатели по крошению имеют легкие почвы песчаного и супесчаного механического состава. Увеличение комковатости происходит с ростом содержания глинистых частиц, особенно на тяжелосуглинистых черноземах с содержанием глинистой фракции до 50-70% по объему и почвах глинистого состава, где объем-

ная доля глины превышает 80% [2].

Заделка растительных и пожнивных остатков на дно борозды необходима для нейтрализации корневых систем, остающихся после уборочных работ. На полях образуется дополнительный перегной, что способствует лучшему росту, развитию и созреванию последующих посевных культур.

Плужный рабочий орган для подрезания пласта представляет собой лемех, состоящий из трапецевидной основы и накладного долота. Рабочий орган предназначен для отечественных плугов общего назначения, выпускаемых в настоящее время. Геометрические параметры, влияющие на силовые и агротехнические показатели вспашки, приняты в соответствии с данными анализа опубликованных материалов и результатов собственных исследований [3, 4].

Вылет долота составлял 40 мм, угол заострения режущей части – 7° [5]. Лицевая поверхность рабочего органа представляла плоскость.

Угол установки относительно стенки борозды изменяли посредством выкручивания среднего болта крепления стойки корпуса плуга к раме и постановки дополнительных шайб на одно из двух оставшихся болтовых соединений. При постановке шайб под первый болт угол между лезвием рабочего органа и стенкой борозды уменьшали, под последний – увеличивали.

Агротехнические показатели почвенного состава имели следующие характеристики: механический состав – тяжелосуглинистый чернозем, твердость в период испытаний 3,1 МПа на глубине 25-27 см, влажность 12-15%, послеуборочные пожнивные остатки – ячмень, кукуруза.

Почвообрабатывающий агрегат включал трактор МТЗ-82, плуг ПЛН-3-35. Скорость движения агрегата – 2,2 м/с. Дальность движения при каждом эксперименте – 100-110 м.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Острота лезвия и вылет долота лемеха влияют на заглубляющую способность и силовые характеристики плуга [6-8]. В проведенных экспериментах испытывали лемехи, угол заострения лезвия которых составлял 7°. Такой угол принят на основании предыдущих испытаний по определению оптимальной геометрии режущей части плужных рабочих органов. Вылет долота равнялся 40 мм.

Для экспериментов по влиянию угла наклона лемешно-отвальной поверхности по лезвию относительно стенки борозды плужные корпуса устанавливали под углами 30; 35; 38; 40; 42; 45; 50 и 55° относительно стенки борозды.

В задачу данного исследования входило определение оптимальных значений угла установки корпуса плуга относительно стенки борозды β при работе на тяжелосуглинистых почвах (рис. 1).

Исследование проводили с использованием куль-

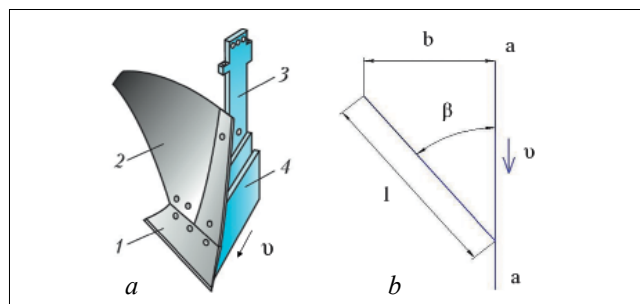


Рис. 1. Корпус плуга (а) и схема его установки относительно стенки борозды (б): 1 – лемех, 2 – отвал, 3 – стойка, 4 – полевая доска, а-а – линия расположения стенки борозды; б – ширина захвата плужного корпуса; l – длина рабочего органа, подрезающего пласт; β – угол установки корпуса плуга относительно стенки борозды

турных отвалов. При значении угла $\beta = 30-35^\circ$ размер комков превышал допустимые нормативные значения на 10-20%. При $\beta = 40-42^\circ$ среднее значение диаметра комков составило 20-50 мм, что укладывается в агротехнические нормы. Если β превышает 45° (в экспериментах 50° и 55°), то средний диаметр комков снижается до 10-30 мм. При этом в ряде случаев наблюдался переход от стружки отрыва к стружке сдвига, что непременно вызовет увеличение тягового сопротивления плуга [9]. Кроме того, чрезмерное снижение значений комковатости поверхностного слоя

почвы (менее 10-20 мм в диаметре) может привести при осенней послеуборочной вспашке к росту ее уплотнения и, соответственно, понижению кислородного и водного проникновения в зимне-весенний период, что отрицательно скажется на предпосевной обработке почвы и урожайности посевных культур [10]. По указанным причинам обоснованным углом β можно считать $40-42^\circ$ для наиболее распространенных в средней полосе РФ суглинистых почв.

Помимо крошения, оценивали оборот почвенного пласта и степень заделки растительных остатков. Для этого использовали четыре основных типа отвалов: цилиндрический марки ПЦО.8.30/45.3-5, культурный ПНЧС-401, полувинтовой П401А и винтовой РЗЗ-4-01.

На суглинистых почвах твердостью 2,7-4,1 МПа лучшие результаты по обороту пласта и заделке растительных остатков показал полувинтовой отвал, который при вспашке обеспечивал полный оборот пласта и заделку стерни. Растительные остатки запахивались на 15-17 см от поверхности пашни, что удовлетворяет допустимым нормам, а количество почвенных фрагментов диаметром более 5 см не превышало 10%.

При вспашке с использованием культурных отвалов на почвах твердостью 2,7-3,5 МПа отмечены хорошее крошение и заделка растительных остатков, однако дальнейшее увеличение твердости повышало тяговое сопротивление. Это связано с повышением давления на лемешно-отвальную поверхность.

У винтовых отвалов оборот пласта имел удовлетворительные значения. Винтовая поверхность отвала улучшает скольжение почвенных частиц вследствие снижения угла трения почвы о металл [11]. Но при этом увеличиваются почвенные фрагменты и снижается качество крошения, вплоть до глыбообразования [12].

После вспашки плугами с различными видами отвалов может проявляться существенная разница в качестве обработки полей (рис. 2).

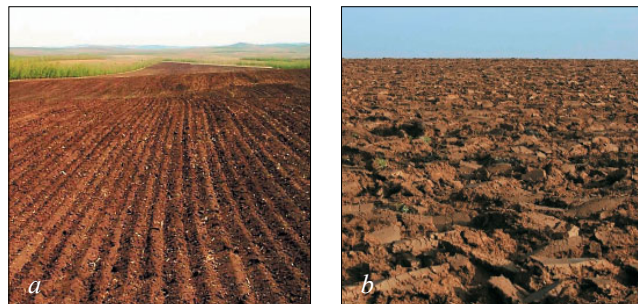


Рис. 2. Вид поверхности полей при вспашке плугом: а – на легкосуглинистых почвах, с применением цилиндрических отвалов; б – на задернелых целинных почвах, с применением винтовых отвалов

Fig. 2. View of the field surface during plowing: а – on light loamy soils using cylindrical moldboards; б – on sod-covered virgin soils using screw (auger-type) moldboards

Цилиндрический отвал на корпусе плуга поставлен достаточно круто, в соответствии с углом α наклона лемешно-отвальной поверхности к дну борозды (рис. 3). Подрезанный пласт при подъеме по отвалу резко изгибается, дает трещины и при падении крошится.

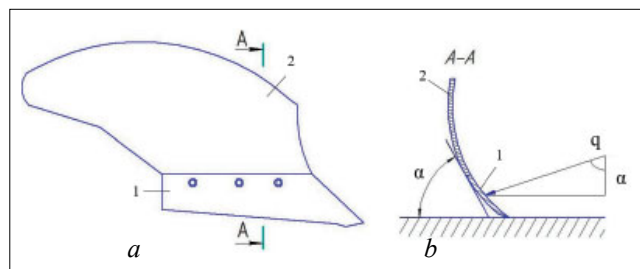


Рис. 3. Лемешно-отвальная поверхность: а – вид спереди; б – вид с торца; 1 – лемех; 2 – отвал; α – угол наклона плужного корпуса к дну борозды; q – нормаль к усредненной поверхности корпуса плуга

Fig. 3. The end view of the plow-bottom surface: а – front view; б – end view.; 1 – plowshare; 2 – blade; α – inclination angle of the plow body to the furrow bottom; q – normal to the averaged surface of the plow body

Во время вспашки с цилиндрическим отвалом не бывает полного оборота пласта, но происходит его удовлетворительное рыхление. Этот отвал обеспечивает хорошее качество пахоты на легких и окультуренных землях.

Культурный отвал отличается от цилиндрического большей изогнутостью его верхней части. Он неплохо рыхлит почву и удовлетворительно ее отваливает. Плуги с культурными отвалами применяют на легких почвах и при подъеме травяного пласта.

Полувинтовой отвал занимает промежуточное положение между цилиндрическим и винтовым. Он хорошо оборачивает пласт и частично его крошит. Его используют при вспашке как старопахотных, так и задернелых почв с кустарником.

Сильно задернелую почву (залежей и лугов) пахнут плугом с винтовыми отвалами. Подрезанный пласт, поднимаясь по винтообразно завернутой плоскости, переворачивается и укладывается в борозду, не крошась. Поэтому его необходимо дополнительно рыхлить.

Определим тяговое сопротивление плуга (горизонтальную составляющую) с различными типами отвалов и сопоставим аналитические данные с экспериментальными, полученными в полевых испытаниях.

Горизонтальная составляющая силы тяги, как и вертикальная, зависит от физико-механических свойств почвы, размеров почвенного пласта, углов наклона лемеха к дну и стенке борозды, глубины пахоты, скорости движения агрегата, а также от геометрических параметров корпуса плуга, в том числе от конфигурации отвала [13].

Тяговое сопротивление плуга можно определить по известной формуле В.П. Горячкина [14]:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = fG + kab + \varepsilon v^2 ab, \quad (1)$$

где P_1 – сила, направленная на протаскивание плуга в расчищенной борозде, без работы плужных корпусов при скольжении лемехов и качении колеса по дну борозды, кН;

P_2 – полезное сопротивление на деформацию пласта, кН;

P_3 – сопротивление отбрасыванию пласта в зависимости от скорости движения плуга, кН;

k – коэффициент сопротивления почвы, кН/м²;

f – коэффициент трения почвы о сталь;

G – вес плуга, кН;

a – глубина обработки, м;

b – ширина захвата корпуса плуга, м;

ε – коэффициент, зависящий от твердости почвы, кН с²/м⁴;

v – скорость движения плуга, м/с.

В приведенной формуле первый член $P_1 = fG$ и третий $P_3 = \varepsilon v^2 ab$, можно считать постоянными для неизменных почвенных условий и неизменной скорости движения плуга.

Второй член $P_2 = kab$ не может оставаться постоянным вследствие различающегося давления почвенных частиц на отвальную поверхность по причине неодинаковой геометрической конфигурации отвалов и при изменении скорости вспашки.

Величина k в формуле (1) названа коэффициентом сопротивления почвы. Этот показатель зависит от веса пласта $G_{пл}$, сил инерции пласта $F_{ин}$ при движении по лемешно-отвальной поверхности, силы трения пласта о металл T и силы сопротивления почвы деформации R_g [15].

В этом случае сила сопротивления почвы, приходящаяся на деформацию пласта, находится из уравнения:

$$P_2 = G_{пл} + F_{ин} + T + R_g. \quad (2)$$

Величины $G_{пл}$, $F_{ин}$, T и R_g , отражающие тяговое сопротивление по формулам применительно к горизонтальной составляющей силы тяги, равны [7]:

$$G_{пл} = ablp_g;$$

$$F_{ин} = 2abpv^2 \cos \alpha / 2;$$

$$T = ablp_g (\tan \alpha + \tan \varphi),$$

где ρ – плотность почвы, кг/м³;

α – угол наклона корпуса плуга к дну борозды, град.;

φ – угол трения почвы по стали, град.

Величина R_g представляет силы, возникающие при взаимодействии почвенных частиц с лемешно-отвальной поверхностью во время движения пахотного агрегата и создающие напряженное состояние, пик которого наступает в момент разрушения пласта. При этом наибольшее напряжение испытывает носовая часть

лемеха как вершина трехгранного клина, которая первой вонзается в почвенную массу. В этой зоне возникают касательные напряжения, способствующие смятию и разрушению почвенного пласта, и нормальные напряжения, из-за которых возникает первичная трещина и происходит отрыв пласта.

Остальная часть лемешно-отвальной поверхности работает в основном на смятие почвы, а главным компонентом напряженного состояния являются касательные напряжения.

В таком случае величина R_g примет вид:

$$R_g = R_g^\sigma + R_g^\tau = k_v (\tau_n a_n b_n + \tau_o a_o b_o) \sin \alpha \cos \beta + k_v \sigma_n a_n b_n \sin \alpha \cos \beta = k_v (\tau_n a_n b_n + \tau_o a_o b_o + \sigma_n a_n b_n) \sin \alpha \cos \beta, \quad (3)$$

где R_g^σ – силы, возникающие от нормальных напряжений при отрыве пласта, кН;

R_g^τ – силы, возникающие от касательных напряжений при деформации пласта, кН;

k_v – коэффициент, зависящий от скорости движения плуга (на суглинистых почвах при скорости 2,0-2,2 м/с его значение составляет 2,5-4,5 в зависимости от твердости почвы);

τ_n – касательные напряжения в зоне носка, МПа;

$a_n b_n$ – площадь поверхности зоны носка, полученная от произведения глубины резания a_n на ширину захвата носовой части корпуса плуга b_n , м²;

τ_o – касательные напряжения на основной площади лемешно-отвальной поверхности, МПа;

$a_o b_o$ – площадь лемешно-отвальной поверхности, полученная от произведения глубины резания a_o на ширину захвата остова лемеха плужного корпуса b_o , м²;

σ_n – нормальные напряжения, возникающие при отрыве пласта, МПа.

Площадь лемешно-отвальной поверхности определяли по отдельной методике [16].

Коэффициент ε в формуле (1) зависит от твердости почвы. Лабораторные исследования позволили установить зависимость тягового сопротивления P_r от твердости абразивной почвенной среды $H_{\text{апс}}$ [17-19]. Она показала линейное увеличение P_r с ростом твердости, описываемое уравнением:

$$P_r = K_m H_{\text{апс}},$$

где P_r – тяговое сопротивление, кН;

K_m – коэффициент, зависящий от механического состава почвы, кН·МПа⁻¹;

$H_{\text{апс}}$ – твердость абразивной почвенной среды, МПа.

Для суглинистых почв с содержанием глины 70-80% K_m находится в пределах 0,6-0,9 кН·МПа⁻¹, при этом $\varepsilon = 4200-5100 \text{ Нс}^2/\text{м}^4$, что согласуется с исследованиями академика В.П. Горячкина.

Таким образом, формула (1) принимает вид:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = fG + kab + \varepsilon v^2 ab = fG + ablp_g + 2abpv^2 \cos \alpha / 2 + ablp_g(tg \alpha + tg \varphi) + k_v (\tau_n a_n b_n + \tau_o a_o b_o + \sigma_n a_n b_n) \sin \alpha \cos \beta. \quad (4)$$

Результаты полевых испытаний, проведенных на суглинистых почвах твердостью 3,1 МПа, и данных аналитического расчета показали идентичность в определении тяговых характеристик плуга. Получены данные исследования физико-механических свойств почвы, на которой проходили испытания, а также характеристики условий проведения испытаний:

- плотность почвы $\rho = 1400 \text{ кг/м}^3$;
- скорость движения плуга $v = 2,2 \text{ м/с}$;
- глубина обработки $a = 0,22 \text{ м}$;
- ширина захвата корпуса плуга $b = 0,35 \text{ м}$;
- длина лемешно-отвальной поверхности на глубине пахоты $l = 0,6 \text{ м}$;
- максимальные касательные напряжения в носовой части лемеха $\tau_n = 0,3 \cdot 10^6 \text{ Па}$;
- максимальные касательные напряжения на остове лемеха $\tau_o = 0,8 \cdot 10^4 \text{ Па}$;
- максимальные нормальные напряжения в носовой части лемеха $\sigma_n = 0,2 \cdot 10^6 \text{ Па}$;
- глубина резания в зоне носка $a_n = 0,4 \text{ м}$;
- ширина захвата в зоне носка $b_n = 0,06 \text{ м}$;
- глубина резания в зоне остова лемеха $a_o = 0,22 \text{ м}$;
- ширина захвата по остову лемеха $b_o = 0,3 \text{ м}$;
- вес плуга $G = 3,5 \text{ кН}$;
- вес почвенного пласта $G_{\text{пл}} = 0,14 \text{ кН}$;
- угол наклона плужного корпуса к дну борозды $\alpha = 85^\circ$;
- угол наклона лемешно-отвальной поверхности к стенке борозды $\beta = 40^\circ$;
- ускорение свободного падения $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;
- угол трения почвы по стали $\varphi = 30^\circ$;
- коэффициент трения почвы по стали $f = 0,4$;
- коэффициент, зависящий от твердости почвы, $\varepsilon = 4,0 \text{ кНс}^2/\text{м}^4$;
- коэффициент скорости почвенного агрегата $K_v = 1,2$;
- количество корпусов $n = 3$.

В соответствии с показателями физико-механических свойств почвы и условиями проведения полевых испытаний определили результаты аналитического расчета и экспериментальных исследований тягового сопротивления плуга, оснащенного полувинтовыми отвалами:

- сила, направленная на протаскивание плуга в расчищенной борозде, без работы плужных корпусов при скольжении лемехов и качении колеса по дну борозды $P_1 = 1,4 \text{ кН}$;
- полезное сопротивление на деформацию пласта $P_2 = 12,1 \text{ кН}$;
- сопротивление отбрасыванию пласта в зависимости от скорости движения плуга $P_3 = 4,5 \text{ кН}$;
- общее тяговое сопротивление плуга определенное аналитическим путем составило $P_a = 18,0 \text{ кН}$;
- тяговое сопротивление плуга, определенное экспериментально, при проведении полевых испытаний $P_3 = 17,6 \text{ кН}$.

Из всех составляющих формулы (1) на силу P_2 приходится более 65% сопротивления движению плуга.

Сравнительный анализ по каждому типу отвалов не проводили вследствие различного назначения для определенных почвенных условий.

Агротехнические показатели, включающие крошение, оборот пласта, степень заделки растительных остатков, позволяют сделать некоторые выводы относительно предпочтения использования тех или иных видов отвалов.

Так, лучшее крошение, как и ожидалось, обеспечивают отвалы с цилиндрической поверхностью. Диаметр комков на испытываемом участке при твердости суглинистой почвы 3,1 МПа не превышал 30-50 мм. Однако при обороте пласта наблюдалось неполное заделывание растительных остатков, нередко нарушалась прямолинейность хода плуга относительно стенки борозды.

Лучшие показатели имели культурные и полувинтовые отвалы. После прохождения борозды почвенные фрагменты имели удовлетворительные размеры, достигался полный оборот пласта. По тяговым характеристикам некоторое преимущество имели полувинтовые отвалы.

У винтовых отвалов наблюдались хорошие показатели по обороту пласта и степени заделки растительных остатков, но крошение почвы оставляло же-

лать лучшего. Во многих местах диаметр комков достигал 100 мм и более.

Таким образом, на суглинистых почвах, наиболее распространенных в центральной зоне, предпочтение можно обоснованно отдать использованию плугов, оснащенных корпусами с культурными и полувинтовыми отвалами.

Выводы

1. Увеличение комковатости при вспашке суглинистых почв происходит с ростом содержания глинистых частиц.

2. При увеличении угла установки лемешно-отвальной поверхности к стенке борозды снижаются размеры почвенных фрагментов с переходом от стружки отрыва к стружке сдвига, что может вызвать повышение тягового сопротивления плуга.

3. Тяговое сопротивление плуга с винтовыми отвалами ниже, чем с цилиндрическими. Это связано с уменьшением угла наклона отвальной поверхности к дну борозды, что снижает давление почвы на лцевую поверхность отвала.

4. Лучшие агротехнические параметры при вспашке суглинистых почв показали культурные и полувинтовые отвалы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Каштанов А.Н., Сизов О.А. Проблемы восстановления угодий, выбывших из сельскохозяйственного использования // *Экономика сельского хозяйства России*. 2008. N11. С. 174-176.
2. Лобачевский Я.П. Прочностные и деформационные свойства связанных задерненных почв // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2011. N 3. С18-21.
3. Лискин И.В., Миронов Д.А. Влияние почвенных условий на износ рабочих органов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2013. N5. С. 29-31.
4. Karmakar S., Kushwaha R. CFD Simulation of Soil Forces on a Flat Tillage Tool. *ASAE Meeting Presentation*. 2005. N2. 56-61.
5. Лискин И.В., Панов А.И., Горбачев И.В. Результаты испытаний лемехов с накладным долотом // *Сельский механизатор*. 2017. N5. С. 8-9.
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. Лискин И.В., Миронов Д.А., Сидоров С.А. Равновесие плуга в продольно-вертикальной плоскости // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2014. N6. С. 41-46.
8. Сидоров С.А., Миронов Д.А. Обоснование повышения эксплуатационных характеристик лемехов плугов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2013. N6. С.14-17.
9. Izmailov A.Yu., Liskin I.V., Lobachevsky Ya.P., Sidorov S.A.,

- Khoroshenkov V.K., Mironova A.V., Luznova E.S. Simulation of soil-cutting blade wear in an artificial abrasive environment based on the similarity theory. *Russian Agricultural Sciences*. 2017. Vol. 43. N1. 71-74.
10. Raper R.L., Reeves D.W., Burt E.C. Using In-Row Subsoiling to Minimize Soil Compaction Caused by Traffic. *The Journal of Cotton Science*. 1998. N2. 130-135.
11. Лобачевский Я.П., Колчина Л.М. Современное состояние и тенденции развития почвообрабатывающих машин. М.: Росинформагротех. 2005. 116 с.
12. Руденко Н.Е., Падальцин К.Д. Исследование процесса взаимодействия комбинированного рабочего органа с почвой // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2014. N2. С. 26-29.
13. Лобачевский Я.П., Панов А.И., Панов И.М. Перспективные направления совершенствования конструкций лемешно-отвальных плугов // *Тракторы и сельхозмашины*. 2000. N5. С. 12-18.
14. Горячкин В.П. Собрание сочинений. Т. 2. М.: Колос. 1965. 459 с.
15. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение. 1977. 328 с.
16. Бурченко П.Н. Механико-технологические основы почвообрабатывающих машин нового поколения. М.: Российская академия сельскохозяйственных наук. 2002. 212 с.
17. Лискин И.В., Лобачевский Я.П., Миронов Д.А., Сидоров С.А., Панов А.И. Результаты лабораторных исследова-

ний почворежущих рабочих органов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №4. С. 41-47.

18. Мазитов Н.К., Шогенов Ю.Х., Ценч Ю.С. Сельскохозяйственная техника: решения и перспективы // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. №3. (32). С. 94-100.

19. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И., Чемисов Н.Н. Энергетическая и технологическая оценка почвообрабатывающего рабочего органа // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2015. №5. С.10-13.

REFERENCES

1. Kashtanov A.N., Sizov O.A. Problemy vosstanovleniya ugodiy, vybyvshikh iz sel'skokhozyaystvennogo ispol'zovaniya [Problems of restoring out-of-use farmlands]. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii*. 2008. N11. 174-176 (In Russian).
2. Lobachevskiy Ya.P. Prochnostnye i deformatsionnye svoystva svyazannykh zadernennykh pochv [Strength and deformation properties of coherent sod-covered soils]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2011. N3. 18-21 (In Russian).
3. Liskin I.V., Mironov D.A. Vliyaniye pochvennykh usloviy na iznos rabochikh organov [Influence of soil conditions on the wear of working tools]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2013. 5. 29-31 (In Russian).
4. Karmakar S., Kushwaha R. CFD Simulation of Soil Forces on a Flat Tillage Tool. *ASAE Meeting Presentation*. 2005. N2. 56-61 (In English).
5. Liskin I.V., Panov A.I., Gorbachev I.V. Rezul'taty ispytaniy lemekhov s nakladnym dolotom [Test results of chisel shares]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2017. N5. 8-9 (In Russian).
6. Mironov D.A., Liskin I.V., Sidorov S.A. Vliyaniye geometricheskikh parametrov dolota na tyagovye kharakteristiki i resursy lemekhov otechestvennykh plugov [Influence of the geometrical parameters of the chisel on the traction characteristics and the resource share of domestic plows]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2015. N6. 25-29 (In Russian).
7. Liskin I.V., Mironov D.A., Sidorov S.A. Ravnovesiye pluga v prodol'no-vertikal'noy ploskosti [Equilibrium of the plow in the longitudinal vertical plane]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2014. N6. 41-46 (In Russian).
8. Sidorov S.A., Mironov D.A. Obosnovaniye povysheniya ekspluatatsionnykh kharakteristik lemekhov plugov [Grounds for improving the operational characteristics of plowshares]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2013. N6. 14-17 (In Russian).
9. Izmaylov A.Yu., Liskin I.V., Lobachevskiy Ya.P., Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Mironova A.V., Luznova Ye.S. Simulation of soil-cutting blade wear in a artificial abrasive environment based on the similarity theory. *Russian Agricultural Sciences*. 2017. Vol. 43. N1. 71-74 (In English).
10. Raper R.L., Reeves D.W., Burt E.C. Using In-Row Subsoiling to Minimize Soil Compaction Caused by Traffic. *The Journal of Cotton Science*. 1998. N2. 130-135 (In English).
11. Lobachevskiy Ya.P., Kolchina L.M. Sovremennoye sostoyaniye i tendentsii razvitiya pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Current state and development trends of tillage machines]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2005. 116 (In Russian).
12. Rudenko N.E., Padal'tsin K.D. Issledovaniye protsessov vzaimodeystviya kombinirovannogo rabocheho organa s pochvoy [Study of the interaction of a combined working tool with the soil]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2014. N2. 26-29 (In Russian).
13. Lobachevskiy Ya.P., Panov A.I., Panov I.M. Perspektivnye napravleniya sovershenstvovaniya konstruktivnykh lemeshno-otval'nykh plugov [Promising directions for improving the design of moldboard plows]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2000. N5. 12-18 (In Russian).
14. Goryachkin V.P. Sbornik sochineniy [Collected works]. Vol. 2. Moscow: Kolos. 1965. 459 (In Russian).
15. Sineokov G.N., Panov I.M. Teoriya i raschet pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Theory and calculation of tillage machines]. Moscow: Mashinostroeniye. 1977. 328 (In Russian).
16. Burchenko P.N. Mekhaniko-tekhnologicheskie osnovy pochvoobrabatyvayushchikh mashin novogo pokoleniya [Mechanical and technological foundations of a new generation of tillage machines]. Moscow: Rossiyskaya akademiya sel'skokhozyaystvennykh nauk. 2002. 212 (In Russian).
17. Liskin I.V., Lobachevskiy Ya.P., Mironov D.A., Sidorov S.A., Panov A.I. Rezul'taty laboratornykh issledovaniy pochvorenzhushchikh rabochikh organov [Laboratory study results of soil-cutting tools]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. N4. 41-47 (In Russian).
18. Mazitov N.K., Shogenov Yu.Kh., Tsench Yu.S. Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: resheniya i perspektivy [Agricultural machinery: solutions and prospects]. *Vestnik VIESH*. 2018. N3(32). 94-100 (In Russian).
19. 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'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2015. N5. 10-13 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 27.06.2019
The paper was submitted
to the Editorial Office on 27.06.2019

Статья принята к публикации 11.05.2020
The paper was accepted
for publication on 11.05.2020

Влияние технических средств и технологий на механическую эрозию почвы на склонах

Салават Гумерович Мударисов,
доктор технических наук,
e-mail: salavam@gmail.com;

Зиннур Сатович Рахимов,
доктор технических наук, профессор

Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Российская Федерация

Реферат. Современные почвообрабатывающие машины и технологии возделывания сельскохозяйственных культур существенно влияют на механическую эрозию почвы на склоновых агроландшафтах. Под действием рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин почва систематически смещается под склон. (*Цель исследования*) Определить пути снижения механической эрозии почвы на склонах при возделывании зерновых и пропашных культур путем совершенствования технологии и технических средств. (*Материалы и методы*) Установили, что механическая эрозия почвы, возникающая при обработке склонов рабочими органами машин в виде трехгранного клина зависит от параметров рабочего органа, крутизны склона и направления движения агрегата относительно горизонтали поля. Механическая эрозия почвы на одном поле за сезон изменяется в зависимости от технологии возделывания культур, прежде всего от количества и глубины обработок. (*Результаты и обсуждение*) Показали, что переход от традиционных технологий возделывания зерновых и пропашных культур к почвозащитной, энергосберегающей технологии *Strip-till* снижает эрозию почвы, а при нулевой технологии возникновение механической эрозии исключено. Определили, что при возделывании зерновых культур на склонах 6 градусов механическая эрозия за сезон по нулевой технологии отсутствует, по энергосберегающей технологии не превышает 15 миллиметров, по почвозащитной технологии – 35 миллиметров, а по традиционной – достигает 145 миллиметров. Отметили, что при возделывании кукурузы по традиционной технологии на склонах 6 градусов механическая эрозия почвы доходит до 87 миллиметров за сезон. Поэтому для сохранения почвы при возделывании кукурузы рассмотрели переход к технологии *Strip-till*. (*Выводы*) Для снижения механической эрозии почвы предложили переходить от традиционных технологий возделывания сельхозкультур на почвозащитные, энергосберегающие, нулевые технологии и технологии *Strip-till*.

Ключевые слова: механическая эрозия почвы, крутизна склона, параметры рабочего органа, технология возделывания культур, направление движения.

■ **Для цитирования:** Мударисов С.Г., Рахимов З.С. Влияние технических средств и технологий на механическую эрозию почвы на склонах // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №2. С. 17-22. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-17-22.

Impact of the Technical Means and Technologies on Mechanical Soil Erosion on Slopes

Salavat G. Mudarisov,
Dr.Sc.(Eng.), e-mail: salavam@gmail.com;

Zinnur S. Rakhimov,
Dr.Sc.(Eng.), professor

Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russian Federation

Abstract. The article presents the influence of used tillage machines and technologies of agricultural crops cultivation on mechanical soil erosion on slope agricultural landscapes. Under the action of tillage and sowing machines working bodies, the soil is systematically shifted down the slope. (*Research purpose*) Identify ways to reduce mechanical soil erosion on the slopes in the cultivation of grain and row crops by improving technology and technical means. (*Materials and methods*) The authors established that the mechanical soil erosion that occurred when processing slopes working bodies in the form of a triangular wedge depended on the parameters of the working body, the steepness of the slope and the movement direction of the unit relative to the horizontal field. Mechanical soil erosion in one field per season varied depending on the technology of cultivation, as it depended on the number and depth of treatments. (*Results and discussion*) The authors showed that the transition from traditional technologies of cultivating grain and row crops to conservation, energy-saving and Strip-till technologies led to a corresponding

reduction in erosion, and the transition to zero technology eliminated the occurrence of mechanical erosion. It was determined that during the cultivation of crops on slopes of 6 degrees there was no mechanical erosion per season by zero technology, by energy-saving technology did not exceed 15 millimeters, by soil protection technology – 35 millimeters, and by traditional – reached 145 millimeters. The authors noted that when cultivating corn by traditional technology on 6-degree slopes, mechanical soil erosion reached 87 millimeters per season. Therefore, to preserve the soil during the corn cultivation, they considered the transition to Strip-till technology. (*Conclusions*) To reduce the mechanical soil erosion, the authors proposed to switch from traditional technologies for cultivating crops to soil-protective, energy-saving, zero technologies and Strip-till technologies.

Keywords: mechanical erosion, slope steepness, the working body parameters, the technology of crops cultivation, the movement direction.

For citation: Mudarisov S.G., Rakhimov Z.S. Vliyanie tekhnicheskikh sredstv i tekhnologiy na mekhanicheskuyu eroziyu pochvy na sklonakh [Impact of the technical means and technologies on mechanical soil erosion on slopes]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N2. 17-22 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-17-22.

Деградация почвы остается большой проблемой аграрного производства. При возделывании сельскохозяйственных культур постоянно провоцируются процессы деградации, подкисления, де гумификации и истощения почвы. Сельскохозяйственные угодья, расположенные на склонах, дополнительно подвергаются эрозионным процессам. Около 60% сельхозугодий Республики Башкортостан подвержены эрозиям. Этому способствует расположение 30,5% площади пашни на склонах свыше 3°.

При возделывании сельскохозяйственных культур на полях, расположенных на склонах, возникают два вида эрозии: водная и механическая.

При водной эрозии происходит вынос почвы с полей в ходе стока талых вод и ливневых дождей. Стекающая вода захватывает частицы верхнего слоя обработанной почвы и выносит за пределы поля. Частицы оседают только при достижении стекающей водой равнинных участков или доходят до рек. В результате реки мелеют, толщина гумусного слоя на полях уменьшается, а на местах, где оседают эти частицы, уничтожается растительность.

При водной эрозии пашни ежегодно теряют в среднем 1 мм плодородного слоя. Потери гумуса могут быть компенсированы разложением пожнивных растительных остатков, так как в эродируемых почвах масса только корневой за год накапливается до 18-21 т/га [1]. Но собственно водная эрозия на каждом поле происходит не ежегодно, а один раз в 4-5 лет. Значит за такие большие потери почвы на склонах отвечает не только она. Параллельно с водной происходит и механическая эрозия почвы.

Под механической эрозией почвы подразумевают систематическое смещение почвы под склон под действием рабочих органов почвообрабатывающих и посевных машин.

Механическая эрозия возникает при каждой обработке почвы, когда она смещается вниз по склону. Это оголяет верхнюю часть склонов от плодородной почвы. На вершинной поверхности холмов появляются

безгумусные слои почвы, выступает гравий. Плодородие полей сильно понижается, они становятся практически непригодными для сельскохозяйственного использования [2]. Механическая эрозия зависит не от метеорологических условий, а только от глубины и количества обработки почвы и рельефа поля.

В связи с этим требуют дальнейшего совершенствования технологии возделывания сельскохозяйственных культур и технические средства для работы на склонах.

Цель исследования – определить пути снижения механической эрозии почвы на склонах при возделывании зерновых и пропашных культур в результате совершенствования технологии и технических средств.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Многие рабочие органы, используемые в обработке почвы (корпус плуга, стрельчатая лапа, диск), представляют собой часть трехгранного клина. Среди его параметров важно учитывать угол γ между лезвием лемеха и направлением движения и угол ϵ между поверхностью рабочего органа и плоскостью, параллельной поверхности поля и проходящей через лезвие лемеха (рис. 1). При поступлении на клин почва начинает перемещаться по траектории AD , которая определяется углом η между лезвием лемеха и направлением движения почвы по клину по формуле Л.В. Гячева [3]:

$$\operatorname{tg} \eta = \operatorname{tg} \gamma \cdot \cos \epsilon. \quad (1)$$

После схода с рабочего органа почва оказывается смещенной в поперечном направлении на расстояние OE . При работе на равнине это смещение зависит от угловых параметров рабочего органа γ и ϵ , а также от ширины лемеха. Рабочий орган имеет симметричную форму относительно направления движения агрегата и агрегат движется при работе в прямом и в обратном направлении, поэтому общее смещение почвы на равнине отсутствует и механическая эрозия почвы не возникает.

Чтобы определить перемещение почвы, найдем угол η_r между проекцией траектории движения поч-

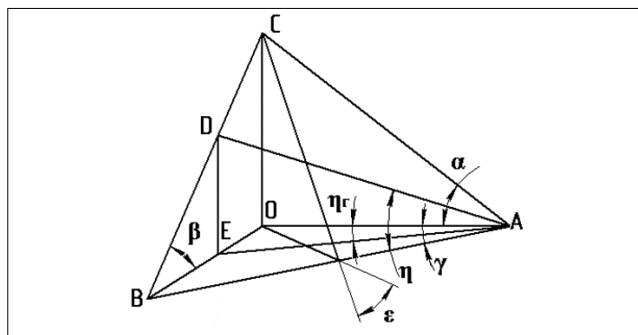


Рис. 1. Параметры трехгранного клина

AD – направление движения почвы по клину; AE – проекция направления движения почвы по клину на горизонтальную плоскость; OE – смещение почвы поперек направления движения

Fig. 1. The triangular wedge parameters:

AD – along the wedge; AE – soil movement direction projection along the wedge on a horizontal plane; OE – soil displacement across the movement direction

вы на горизонтальную плоскость и направлением движения рабочего органа:

$$\operatorname{tg} \eta_r = \frac{\operatorname{tg} \gamma \cdot \cos \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \eta}{1 + \cos \varepsilon \cdot \operatorname{tg} \gamma \cdot \operatorname{tg} \eta} \quad (2)$$

При работе на склонах в зависимости от направления движения агрегата относительно горизонтали поля рабочий орган наклоняется как поперек направления движения агрегата, так и вдоль. Кроме этого на пласт почвы вниз по склону действует дополнительная боковая сила:

$$Q = G \sin \Omega,$$

где Q – боковая сила, действующая на почву, Н;

G – вес почвы, Н;

Ω – крутизна склона, град. [4, 5].

При обработке полей на склонах смещение почвы вниз по склону всегда больше, чем вверх. Это объясняется изменением технологических параметров рабочего органа относительно горизонтальной плоскости γ и ε и действием боковой силы, которая поворачивает траекторию движения почвы по рабочему органу еще на углы DAD' , и D_2AD_2' (рис. 2).

На рисунке 2 параметры смещения почвы без учета боковой силы обозначены Δ_1' и Δ_2' . С учетом боковой силы смещение почвы вверх верхним крылом уменьшается до Δ_2 , а смещение вниз нижним крылом увеличивается до Δ_1 .

Разница смещений при механических обработках приводит к возникновению механической эрозии почвы, равной:

$$\Delta = \Delta_1 - \Delta_2. \quad (3)$$

Рассматривая рабочий орган в виде лемеха $AB_1M_1M_2$ шириной L как часть трехгранного клина, можно определить смещение почвы на склонах (рис. 3) [6-8]:

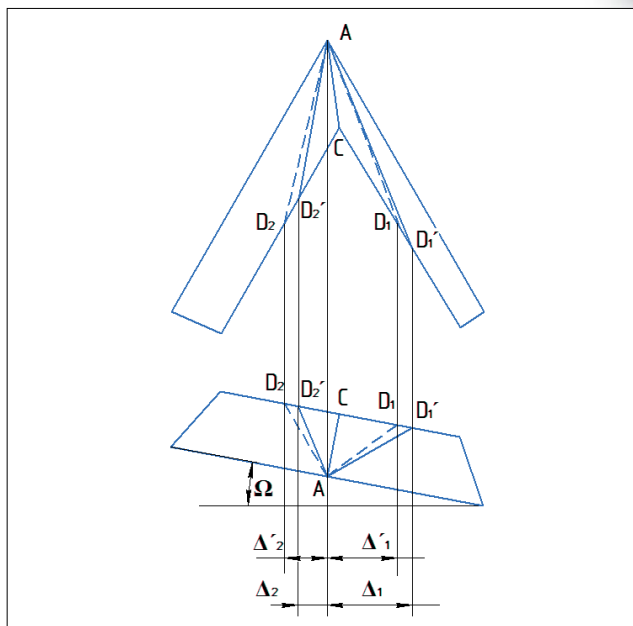


Рис. 2. Смещение почвы на склонах

Fig. 2. Soil displacement on the slopes

$$\Delta_1 = L \cdot \frac{\operatorname{tg} \eta_{r1}}{\cos \Omega \cdot \sin \eta' \cdot \cos \chi'}, \quad (4)$$

где χ' – угол между относительной траекторией движения почвы и направлением движения рабочего органа при работе на склонах.

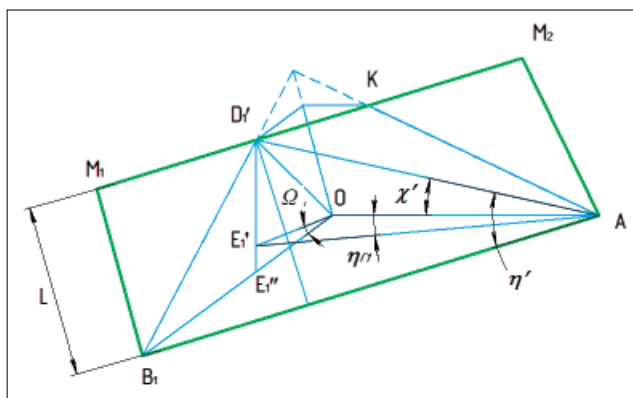


Рис. 3. Схема определения смещения почвы лемехом на склонах

Fig.3. The scheme for determining the soil displacement by the ploughshare on the slopes

Здесь η_{r1} определяют по выражению (5):

$$\operatorname{tg} \eta_{r1} = \frac{\operatorname{tg} \gamma_i - \cos \varepsilon_i \cdot \operatorname{tg} \eta_1}{1 + \cos \varepsilon_i \cdot \operatorname{tg} \gamma_i \cdot \operatorname{tg} \eta_1}, \quad (5)$$

где углы γ и ε зависят от крутизны склона и направления движения агрегата относительно горизонтали поля, а угол $\eta_1' = \eta_1 \pm \delta$.

Угол отклонения траектории δ меняется в зависимости от крутизны склона и параметров рабочего органа.

Таким образом, в выражении (5) учтены как наклон рабочего органа, так и действие боковой силы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Полученные выражения позволяют определить смещение почвы рабочим органом в зависимости от параметров рабочего органа, крутизны склона и направления движения агрегата. На рисунке 4 показана зависимость смещения почвы и механической эрозии при работе лемеха шириной $L = 100$ мм ($\gamma = 50^\circ$ и $\varepsilon = 30^\circ$) от крутизны склона Ω при движении агрегата поперек него [6, 7].

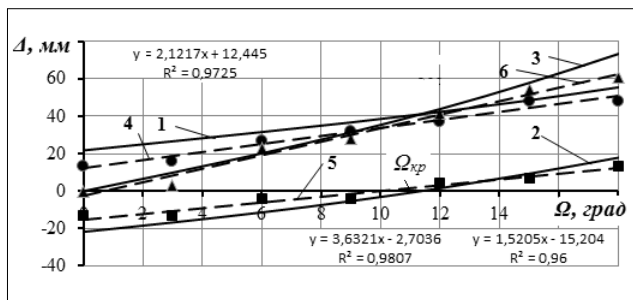


Рис. 4. Зависимость смещений почвы Δ_1 и Δ_2 и механической эрозии Δ при работе лемеха с шириной $L = 100$ мм ($\gamma = 50^\circ$, $\varepsilon = 30^\circ$) от крутизны склона Ω при поперечном движении [6, 7]: 1, 2, 3 – теоретические данные Δ_1 , Δ_2 и Δ ; 4, 5 и 6 – экспериментальные данные Δ_1 , Δ_2 и Δ

Fig. 4. Dependence of soil displacements Δ_1 and Δ_2 and mechanical erosion Δ at the work of a ploughshare with a width $L = 100$ mm and angles ($\gamma = 50^\circ$, $\varepsilon = 30^\circ$) on the slope Ω when moving across the slope: 1, 2, 3 – the theoretical data Δ_1 , Δ_2 and Δ ; 4, 5, 6 – experimental data Δ_1 , Δ_2 and Δ

Смещение почвы вниз нижним крылом стрельчатой лапы увеличивается при увеличении крутизны склона, а смещение почвы вверх верхним крылом уменьшается. При достижении критического значения крутизны $\Omega_{кр}$ верхнее крыло тоже начинает перемещать почву вниз по склону. Экспериментальные данные получены с помощью специально созданного прибора для определения траектории перемещения частиц почвы [9]. Смещение почвы зависит также от параметров γ , ε и L .

Для определения смещения почвы и механической эрозии на склонах рабочими органами, имеющими сложную геометрическую форму (корпус плуга, сферический диск), на основе динамики сплошных деформируемых сред была разработана математическая модель взаимодействия рабочих органов с почвой с учетом их работы на склонах [10]. Созданная модель позволяет изучить характер движения почвы по рабочему органу в зависимости от его параметров, направления движения относительно горизонтали поля крутизны склона, определить величину механической эрозии и тяговое сопротивление рабочего органа.

Большой интерес представляет суммарное смещение почвы вниз по склону за сезон при возделывании разнообразных культур с использованием различных технологий возделывания.

При выращивании зерновых культур применяют

4 типа технологий: традиционную, почвозащитную, энергосберегающую и нулевую. Для каждой из них имеется свой комплекс машин. Рассчитаем величину механической эрозии почвы при различных технологиях возделывания зерновых культур на полях, расположенных на склонах с крутизной 2° и 6° (таблица 1).

Общая механическая эрозия при традиционной

Таблица 1		Table 1	
МЕХАНИЧЕСКАЯ ЭРОЗИЯ ПОЧВЫ ПРИ РАЗНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ, мм MECHANICAL SOIL EROSION FROM DIFFERENT TECHNOLOGIES, MM			
Технологии Technologies		Угол склона, град. Slope angle, degrees	
		2	6
Традиционная, всего Traditional, total		56,3	145,7
в том числе / including: лущение стерни stubble breaking		26,0	71,0
вспашка отвальными плугами plowing with dump plows		27,0	64,0
культивация стрельчатой лапой lancet cultivation		2,3	7,0
посев дисковым сошником disc coulters seeding		1,0	3,7
Почвозащитная / Soilproof		10,8	33,0
Энергосберегающая / Energy-saving		4,8	15,0
Нулевая / Zero		0	0

технологии составит на склоне 2° – 56,3 мм, а на склоне 6° – 145,7 мм.

Аналогично при возделывании зерновых культур по почвозащитной технологии с использованием игольчатых борон, плоскорезов-щелевателей, культиваторов для предпосевной обработки и стерневых сеялок с лаповыми сошниками получаем общую механическую эрозию на склоне 2° – 10,8 мм, а на склоне 6° – 33 мм.

При возделывании зерновых культур по энергосберегающей технологии с использованием стерневых лаповых культиваторов для основной обработки почвы и при посеве стерневыми сеялками с лаповыми сошниками получаем общую механическую эрозию на склоне 2° – 4,8 мм, а на склоне 6° – 15 мм.

Механическая эрозия почвы при возделывании по нулевой технологии отсутствует.

Внедрение минимальной обработки почвы под отдельные культуры необходимо считать приоритетным направлением для снижения механической эрозии. Использование почвозащитной технологии возделывания сельхозкультур направлено на защиту почвы от эрозии вследствие снижения стока воды и увеличения количества впитываемой влаги. При этом основную обработку почвы проводят безотвальными орудиями, такими как плоскорез-щелеватель, чизели. На склонах 6° использование этих орудий смеща-

ет почву на всей глубине обработки на 18 мм, а общее смещение с учетом предпосевной культивации и посева доходит до 33 мм. Следовательно, на склонах свыше 5° необходимо для основной обработки применять чизельные орудия, которые снижают механическую эрозию. Резервом в почвозащитной технологии на этапе предпосевной культивации служит замена стрелчатых рабочих органов на рыхлительные.

При традиционной технологии возделывания зерновых культур все задействованные машины провоцируют рост механической эрозии (таблица 1).

Прямой посев практически исключает механическую эрозию. Но в этом случае необходимо использовать специализированную технику для посева и ядохимикаты для уничтожения сорняков. Все это в определенной степени повышает производственные затраты, однако существенное снижение эксплуатационных затрат вследствие исключения энергоемких технологических операций по обработке и подготовке почвы в конечном итоге позволяет снизить себестоимость продукции [11].

При использовании традиционной технологии возделывания пропашных культур механические обработки проводятся в несколько раз больше, чем на посевах культур сплошного сева. Из этого числа обработок рассмотрим только те операции, в которых применяют рабочий орган в виде трехгранного клина. К этим операциям относятся:

- основная обработка почвы на глубину до 30 см;
- культивация на глубину 10-12 см;
- предпосевная культивация на глубину 8-10 см;
- междурядная обработка на глубину 10-12 см;
- междурядная обработка на глубину 7-8 см;
- междурядная обработка на глубину 5-8 см.

Определим механическую эрозию почвы при возделывании кукурузы на силос на склонах крутизной 2° и 6° (таблица 2).

Из таблицы 2 видно, что на склонах 6° нижние

слои перемещаются за сезон на 64 мм, верхние – уже на 87 мм, а на склонах 2° – 27 и 36 мм соответственно.

Поскольку отвальная обработка почвы, особенно на склонах, имеет много отрицательных сторон, для пропашных культур (кукуруза, подсолнечник) предлагают использовать полосную технологию обработки почвы (технология *Strip-till*) и посева семян в обработанные полосы. При этом количество обработок снижается до одной, и оставляемая в междурядье без обработки полоса будет защищать почву как от механической, так и водной эрозии. Для исключения механической эрозии в обрабатываемых полосах рекомендуется использовать рабочие органы, снижающие смещение почвы.

Выводы

1. На полях, расположенных на склонах, при использовании для обработки почвы и посева рабочих органов в виде трехгранного клина возникает механическая эрозия почвы, которая зависит от параметров рабочего органа, крутизны склона и направления движения агрегата относительно горизонтали поля.

2. Чем глубже обработка почвы, тем больше механическая эрозия.

3. Расчеты показали, что механическая эрозия почвы зависит также от технологии возделывания культуры. При выращивании зерновых культур на склонах 6° механическая эрозия за сезон при нулевой технологии практически отсутствует, при энергосберегающей – не превышает 15 мм, при почвозащитной – равна 35 мм, при традиционной технологии составляет 145 мм. Для снижения механической эрозии на склонах необходимо перейти от традиционных технологий возделывания культур к энергосберегающим. Переход к нулевой технологии полностью исключает механическую эрозию.

5. Механическая эрозия почвы при возделывании кукурузы по традиционной технологии на склонах 6° доходит до 87 мм за сезон. Поэтому для сохранения почвы желательно переходить к полосной технологии обработки почвы.

Таблица 2

Table 2

ЗАВИСИМОСТЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭРОЗИИ ПОЧВЫ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ КУКУРУЗЫ НА СИЛОС ОТ КРУТИЗНЫ СКЛОНА, ММ
DEPENDENCE OF MECHANICAL SOIL EROSION AT SILAGE MAIZE CULTIVATION ON THE STEEPNESS OF THE SLOPE, MM

Крутизна склона, град. Steepness, degree	Слой почвы, см Soil layers, cm	Операция / Procedure						Общая механическая эрозия, мм Mechanical erosion, mm
		вспашка tillage	предпосевная культивация pre-sowing cultivation		междурядная обработка inter-row tillage			
			1-я	2-я	1-я	2-я	3-я	
2	8	27,0	2,3	2,3	1,5	1,5	1,5	36,1
	10	27,0	2,3	2,3	1,5	–	–	33,1
	12	27,0	2,3	–	1,5	–	–	30,8
	30	27,0	–	–	–	–	–	27,0
6	8	64,0	7,0	7,0	3	3	3	87,0
	10	64,0	7,0	7,0	3	–	–	81,0
	12	64,0	7,0	–	3	–	–	74,0
	30	64,0	–	–	–	–	–	64,0

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шведас А.И. Закрепление почв на склонах. Л.: Колос. 1974. 183 с.
2. Макарова М.С., Зацаринный В.А. Рекомендации по вспашке почвы на склонах плугами общего назначения // *Вестник аграрной науки Дона*. 2012. N4 (20). С. 22-29.
3. Гячев Л.В. Теория лемешно-отвальной поверхности // *Труды Азово-Черноморского института механизации сельского хозяйства*. 1961. Вып. 13. 317 с.
4. Рахимов З.С. Механическая эрозия почвы на склонах // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2005. N5. С. 37-38.
5. Рахимов З.С. Влияние технологий и машин на эрозионные процессы при обработке склонов. Уфа: Башкирский государственный аграрный университет. 2006. 152 с.
6. Рахимов З.С. Влияние конструктивно-технологических параметров рабочего органа на смещение почвы и на механическую эрозию при работе на склонах // *Известия Международной академии аграрного образования*. 2013. Вып. 17. С. 108-112.
7. Рахимов З.С., Мударисов С.Г., Рахимов И.Р. Возникновение механической эрозии почвы на склоновых полях и пути ее снижения // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2018. Т. 13. N3(50). С. 96-102.
8. Rakhimov Z., Mudarisov S., Gabitov I., Rakhimov I., Rakhimov R., Farkhutdinov I., Tanylbaev M., Valiullin I., Yamaletdinov M. Aminov R. Mathematical Description of the Mechanical Erosion Process in Sloping Fields. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. N13. 6505-6511.
9. Рахимов З.С. Прибор для определения траектории перемещения частиц почвы // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2006. N2. С.24-25.
10. Мударисов С.Г., Рахимов З.С., Фархутдинов И.М., Валиуллин И.Э., Ахметьянова И.И. Моделирование технологического процесса обработки почвы на склоновых агроландшафтах // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2016. Т. 11. N1. С. 87-91.
11. Gabitov I., Mudarisov S., Gafurov I., et al. Evaluation of the Efficiency of Mechanized Technological Processes of Agricultural Production. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. Vol. 13. N10 SI. 8338-8345.

REFERENCES

1. Shvedas A.I. Zakreplenie pochv na sklonakh. [Fixation of soils on the slopes] Leningrad: Kolos. 1974. 183 (In Russian).
2. Makarova M.S., Zatsarinny V.A. Rekomendatsii po vspashke pochvy na sklonakh plugami obshchego naznacheniya [Recommendations for plowing the soil on the slopes with general-purpose plows]. *Vestnik agrarnoy nauki Dona*. 2012. N4 (20). 22-29 (In Russian).
3. Gyachev L.V. Teoriya lemeshno-otval'noy poverkhnosti [The theory of the plow-dump surface]. *Trudy Azovo-Chernomorskogo instituta mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva*. 1961. Iss. 13. 317 (In Russian).
4. Rakhimov Z.S. Mekhanicheskaya eroziya pochvy na sklonakh [Mechanical soil erosion on slopes]. *Traktory i sel'skokhozyaystvennye mashiny*. 2005. N5. 37-38 (In Russian).
5. Rakhimov Z.S. Vliyanie tekhnologiy i mashin na erozionnye protsessy pri obrabotke sklonov [The influence of technologies and machines on erosion processes in the processing of slopes]. Ufa: Bashkirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. 2006. 152 (In Russian).
6. Rakhimov Z.S. Vliyanie konstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov rabocheho organa na smeshchenie pochvy i na mekhanicheskuyu eroziyu pri rabote na sklonakh [The influence of the structural and technological parameters of the working body on soil displacement and on mechanical erosion when working on slopes]. *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya*. 2013. Iss. 17. 108-112 (In Russian).
7. Rakhimov Z.S., Mudarisov S.G., Rakhimov I.R. Vozniknovenie mekhanicheskoy erozii pochvy na sklonovykh polyakh i puti ee snizheniya [The emergence of mechanical soil erosion on slope fields and ways to reduce it]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018. Vol. 13. N3(50). 96-102 (In Russian).
8. Rakhimov Z., Mudarisov S., Gabitov I., Rakhimov I., Rakhimov R., Farkhutdinov I., Tanylbaev M., Valiullin I., Yamaletdinov M. Aminov R. Mathematical Description of the Mechanical Erosion Process in Sloping Fields. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. N13. 6505-6511 (In English).
9. Rakhimov Z.S. Pribor dlya opredeleniya traektorii peremeshcheniya chastits pochvy [A device for determining the movement trajectory of soil particles]. *Traktory i sel'skokhozyaystvennye mashiny*. 2006. N2. 24-25 (In Russian).
10. Mudarisov S.G., Rakhimov Z.S., Farkhutdinov I.M., Valiullin I.E., Akhmetyanova I.I. Modelirovanie tekhnologicheskogo protsessa obrabotki pochvy na sklonovykh agrolandshtakh [Modeling the technological process of soil cultivation on sloping agrolandscapes]. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016. Vol. 11. N1. 87-91 (In Russian).
11. Gabitov I., Mudarisov S., Gafurov I., et al. Evaluation of the Efficiency of Mechanized Technological Processes of Agricultural Production. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. Vol. 13. N10 SI. 8338-8345 (In English).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 03.04.2019
The paper was submitted
to the Editorial Office on 03.04.2019

Статья принята к публикации 18.05.2020
The paper was accepted
for publication on 18.05.2020

Механизированный способ удаления и утилизации камней на горных склонах

Сергей Майрамович Джибилов,
кандидат технических наук,
заведующий лабораторией;

Людмила Романовна Гулуева,
ведущий конструктор,
e-mail: luda_gulueva@mail.ru

Владикавказский научный центр, с. Михайловское, Республика Северная Осетия – Алания, Российская Федерация.

Реферат. Для удаления средних и крупных камней с горных лугов и пастбищ с экспозиционным уклоном до 12 градусов разработали новый способ и опытный образец агрегата. Показали, что машина удаляет 95 процентов камней. Эффективность работы агрегата определяют новые рабочие органы: поворотная рама, гребенка и специальный плуг, нарезающий канал вдоль движения агрегата. (*Цель исследования*) Обосновать конструктивные параметры горного навесного камнеуборочного агрегата и их влияние на качество подготовки лугопастбищных угодий. (*Материалы и методы*) Испытания агрегата провели в стационаре на южном склоне Даргавской котловины РСО – Алания на высоте 1650 метров над уровнем моря, с уклоном 12 градусов. Предусмотрели 9 вариантов (по 3 в каждой повторности), каждый второй вариант – контрольный. (*Результаты и обсуждение*) Разработаны способ и агрегат для удаления камней диаметром более 30 миллиметров на склонах крутизной до 12 градусов. Определили, что засоренность камнями по мере расположения вариантов сверху вниз составила в среднем 37,2; 45,6 и 52,0 процента площади делянки. (*Выводы*) Установили, что увеличение полезной площади пастбищ вследствие удаления и утилизации камней позволило повысить нагрузку на 1 гектар пастбищ с 1,1 до 3,6 головы нагульного молодняка крупного рогатого скота. Показали, что агрегат, наряду с удалением камней, равномерно распределяет экскременты животных, благодаря чему повышается продуктивность кормовых угодий: урожайность по сравнению с контролем ежегодно возрастала на 0,33-1,93 тонны с гектара.

Ключевые слова: камнеуборочный агрегат, улучшение лугов и пастбищ на горных склонах, удаление и утилизация камней.

■ **Для цитирования:** Джибилов С.М., Гулуева Л.Р. Механизированный способ удаления и утилизации камней на горных склонах // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. N2. С. 23-28. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-23-28.

Mechanized Method for the Removal and Disposal of Stones on Mountain Slopes

Sergey M. Dzhibilov,
Ph.D.(Eng.), head of the laboratory;

Lyudmila R. Gulueva,
lead designer, e-mail: luda_gulueva@mail.ru

Vladikavkaz scientific center of the Russian Academy of Sciences, Republic Of North Ossetia – Alania, Mikhailovskoe village, Russian Federation

Abstract. To remove medium and large stones from mountain meadows and pastures with an exposure slope of up to 12 degrees, a new method and prototype machine were developed. The authors showed that the machine removes 95 percent of the stones. The machine efficiency was determined by new working bodies: a rotary frame, a comb and a special plow that cut a channel along the movement of the machine. (*Research purpose*) To substantiate the design parameters of a mountain stone-harvesting machine and their impact on the grassland preparation quality. (*Materials and methods*) The machine was tested on the southern slope of the Dargavskoy Basin of North Ossetia-Alania at an altitude of 1650 meters above sea level, with a slope of 12 degrees. There were 9 options (3 in each repetition), each second option was a control one. (*Results and discussion*) A method and a machine for removing stones with a diameter of more than 30 millimeters on slopes with a steepness of up to 12 degrees were developed. It was determined that stone clogging as the options were located from top to bottom averaged 37.2; 45.6 and 52.0 percent of the plot area. (*Conclusions*) It was established that an increase in the pastures useful area due to the removal

and utilization of stones made it possible to increase the load on 1 hectare of pastures, from 1.1 to 3.6 heads of feeding young cattle. The authors showed that the machine, along with the removal of stones, evenly distributed animal excrement, thereby increasing the productivity of fodder land: productivity compared to control increased annually by 0.33-1.93 tons per hectare.

Keywords: destoner, improvement of meadows and pastures on mountain slopes, removal and utilization of stones.

For citation: Dzhibilov S.M., Gulueva L.R. Mekhanizirovannyi sposob udaleniya i utilizatsii kamney na gornykh sklonakh [Mechanized method for the removal and disposal of stones on mountain slopes]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. T. 14. N2. 23-28 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-23-28.

Значительные площади горных кормовых угодий, в первую очередь пастбищ, засорены камнями [1-2]. Это связано с постоянным разрушением горных пород и сбиванием копытами животных, что затрудняет такие технологические операции, как посев трав на лугах и пастбищах, внесение различных удобрений [3].

Крутые склоны, резкая смена температуры воздуха и почвы, как посезонно, так и в течение суток, малая мощность гумусового горизонта, сильная закамененность затрудняют применение средств механизации на лугопастбищных участках при их восстановлении. Уборка камней важна для проведения механизированных работ по сеноуборке в горной местности, повышения продуктивности и увеличения полезной площади пастбищ [4]. Степень закамененности участка считается слабой, если до 10% площади пастбищ покрыто камнями; средней – при 10-20%; сильной – при 20-60% и очень сильной, если площадь под камнями превышает 60%.

Известно, что травы на лугах следует скашивать на высоте 60-70 мм от поверхности почвы. Камни, выступающие над почвой выше 60 мм, препятствуют применению тракторных косилок на горных участках и становятся причиной травмирования животных на пастбищах [5].

Из-за особенностей рельефа горных агроландшафтов применение серийных средств механизации по уборке камней невозможно. За последнее время запатентованы свыше 200 изобретений по механизированной уборке камней: для сборки и вывоза, выкорчевывания из почвы, погрузки и вывоза, дробления и последующего вывоза. К ним относятся камнеуборочные машины марки *Jymra* моделей *MYM-185*, *MYM 205 AM*, *MYM 205 DX*; *Kivi Pekka*; УКП-0,6; *7200 Signature*, *Kongskilde StoneBear*, *Schulte*, Тамерлан-1800, ПМУ-6 и др.

Например, камнеуборочная машина *Kivi Pekka* надежно очищает почву от камней различного диаметра и готовит грунт под засев. Валы подборщика собирают камни в ходе движения в противоположную сторону от самой машины. Глубина сбора – до 15 см. Бункер емкостью 2 м³ принимает камни, движущиеся к нему по ситам, в то время как земля, просеиваясь через ячейки, возвращается на поля.

Машины для сборки камней с поверхности поля и стройплощадок *Kongskilde StoneBear* используют для очистки полей для гольфа, пляжей, спортивных объектов, газонов, производственных территорий и строительных объектов. При рабочей ширине 4 и 5 м они легко убирают камни диаметром 3-30 см. Чтобы избежать уплотнения почвы, камнеподборщик снабжен широкими шинами с низким давлением. Благодаря этому сбор камней возможен даже непосредственно перед посевом сельскохозяйственных культур, но не в горной местности.

Исследования показали, что все вышеперечисленные агрегаты и способы удаления камней предназначены для пахотных плоскостных сельскохозяйственных угодий, их применение связано со значительным нарушением дернового покрова, что неприемлемо на естественных кормовых угодьях, особенно на мелко-контурных склоновых землях [6].

Авторы совместно с лабораторией горного луговодства Северо-Кавказского научно-исследовательского института горного и предгорного сельского хозяйства Владикавказского научного центра Российской академии наук (СКНИИГПСХ ВНИЦ РАН) в 2008 г. разработали лабораторный образец камнеуборочной машины для работы на горных участках. Впоследствии, после некоторых доработок, был изготовлен опытный образец навесного камнеуборочного агрегата, прошедший испытания в горной зоне РСО – Ала́ния в 2016-2019 гг. Машина предназначена для удаления камней диаметром более 30 мм на склонах крутизной до 12°, агрегируется с тракторами марки «Беларусь» горной модификации (рис. 1).

Агрегат убирает камни при челночном движении вниз по склону. Начиная от вершины лугов и пастбищ, загонами поперек склона, он сгребаёт камни гребенкой и по мере необходимости утилизирует их в одновременно нарезаемый канал при помощи однокорпусного плуга, установленного на неподвижной раме. Почва корпусом плуга отваливается вниз по склону, образуя бруствер вдоль нижней части обработанного участка.

Глубина нарезаемого канала не может превышать 20 см из-за близкого залегания скальных выступов к поверхности почвы. Ширина канала – 35 см, то есть наиболее приемлемая величина для серийно выпу-

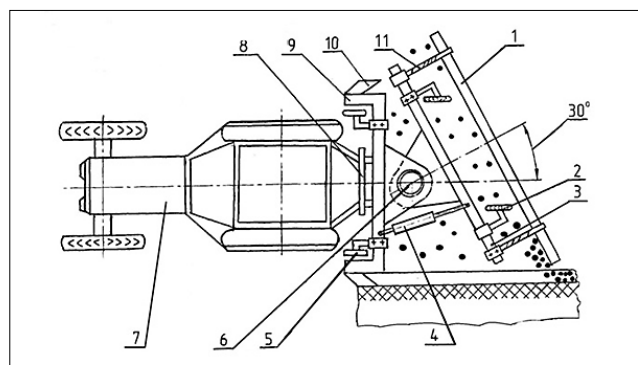


Рис. 1. Принципиальная схема агрегата: 1 – гребенка; 2 – опорные колеса гребенки; 3 – подвижная рама; 4 – гидроцилиндр; 5 – опорные колеса плуга; 6 – поворотное устройство; 7 – трактор МТЗ-82; 8 – навесное устройство; 9 – неподвижная рама; 10 – корпус плуга; 11 – пружинные стойки

Fig. 1. Schematic diagram of the machine: 1 – comb; 2 – support comb wheels; 3 – movable frame; 4 – hydraulic cylinder; 5 – support plow wheels; 6 – rotary device; 7 – MTZ-82 tractor; 8 – mounted device; 9 – fixed frame; 10 – plow body; 11 – spring struts

скаемого корпуса плуга. Частоту нарезаемых на поле каналов устанавливают в зависимости от степени засоренности камнями. Оставшиеся на поле камни размером менее 30 мм не оказывают отрицательного влияния на работу сеноуборочной техники.

Агрегат с помощью навесного устройства шарнирно соединяется с неподвижной рамой и навешивается на трактор МТЗ-82.

Поворотное устройство, управляемое гидроцилиндром из кабины трактора, служит для установления угла атаки гребенки от 0 до 30°. Его можно изменять относительно направления движения агрегата, стимулируя скатывание камней вниз по склону.

Пружинные стойки прижимают гребенку к поверхности почвы, что обеспечивает постоянный зазор 50 мм между поверхностью поля и лемехом гребенки. Однокорпусный плуг по мере накопления камней нарезает канал для их утилизации. Он снабжен механизмом заглубления в почву, а также механизмом защиты при встрече со скрытым под почвой булыжником или скальным выступом [7].

Ширина захвата, угол поворота гребенки, глубина и ширина канала, высота гребенки, а также количество ярусных загонов регулируются в зависимости от засоренности и размера камней до начала работы агрегата.

Цель исследования – обосновать конструктивные параметры горного навесного камнеуборочного агрегата, позволяющего повысить продуктивность полей, снизить эрозию и другие деградационные процессы почвенного покрова, создать благоприятные условия для применения средств механизации на горных лугах и пастбищах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Стационарный опыт по испытанию опытного образца агрегата для удаления и

одновременной утилизации камней проводили в 2016–2019 гг. на южном склоне Даргавской котловины РСО – Алания (левый берег реки Гизельдон) на высоте 1650 м над уровнем моря под уклоном 12°.

Деградированное пастбище, покрытое мелкими и средними камнями, общей площадью 8760 м², разделили на 3 равнозначных участка по 2920 м², каждый из которых являлся повторностью. В свою очередь, каждый участок включал 3 опытные делянки (варианта) по 973 м² с разделительными полосами шириной 2 м. Всего 9 вариантов – по 3 в каждой повторности. Согласно схеме опыта, каждая вторая делянка опытного участка (варианты 2, 5, 8) была контрольной, где не проводили обработку агрегатом. Агрегат передвигался по опытному полю в трех сегментах, меняя направление, показанное по схеме опыта (рис. 2).

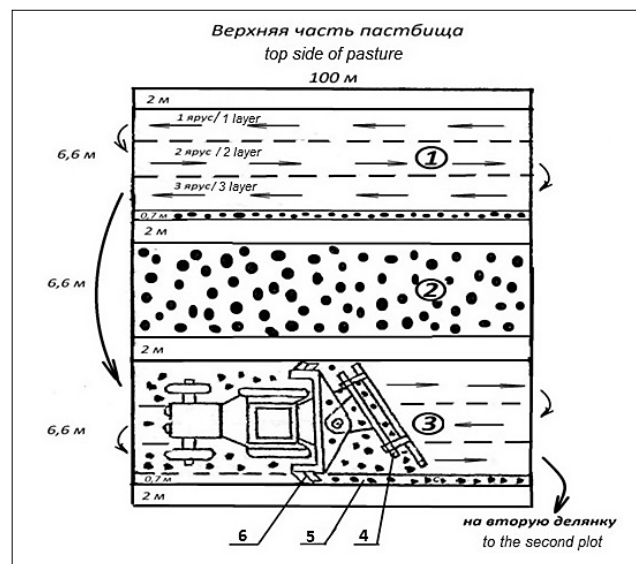


Рис. 2. Схема движения агрегата: 1, 2, 3 – загоны; 4 – подвижная рама с гребенкой; 5 – неподвижная рама с плугом; 6 – канал для утилизации камней

Fig. 2. The movement scheme of the machine: 1, 2, 3 – pens; 4 – movable frame with a comb; 5 – fixed frame with a plow; 6 – channel for stones disposal

В начале третьего сегмента плуг опускается на заданную глубину, образуя утилизационный канал шириной 35 см, в который поступает каменная масса, направленная гребенкой.

Весной, после полного просыхания пастбища, в стадии начала вегетации луговых трав измерили площадь соприкосновения с почвой свободно разбросанных мелких и средних камней диаметром 3–60 см, определили площадь засорения посредством подсчета делянок по 1 м², где камни находились по диагонали в количестве 3 шт. Засоренность камнями по мере расположения вариантов сверху вниз в среднем составила 37,2; 45,6 и 52,0% площади делянки [8].

Повышение уровня засоренности связано с тем, что в течение определенного времени животные при

горизонтальном передвижении по пастбищу сбивают копытами мелкие и средние камни, которые по инерции скатываются вниз по склону [9].

При челночном передвижении агрегата с верхнего варианта к нижнему трехъярусными сегментами гребенка шириной захвата 2,2 м сгребают камни вниз по склону в нарезаемый канал нижней части третьего сегмента, заранее рассчитанный по размерам камней, собранных с учетных делянок. Объемную массу определяли по разности вытесненной и оставшейся в емкости воды при загрузке в нее камней с учетной делянки.

Между лемехом гребенки и поверхностью горного участка имеется зазор. Помимо сгребания камней, агрегат во время перемещения по пастбищу равномерно распределяет оставшиеся экскременты животных. Органические питательные вещества необходимы для повышения продуктивности кормовых угодий [10].

В процессе исследований установлена положительная динамика изменения урожая и питательной ценности пастбищного корма после применения камнеуборочного агрегата [11]. Действие равномерно распределенного навоза и влагозадержания дало существенную достоверную прибавку урожая по сравнению с контролем, которая составляла 0,33-1,93 т/га. Кислотность почвы снизилась: уровень pH изменился с 4,8 до 5,1. Вследствие прорастания залежных, аборигенных семян бобовых трав на третий год наблюдений их доля в травостое увеличилась с 2,1-3,6% в контроле до 12,2-16,7% на опытных делянках. Содержание злаковых в травостое также повысилось – с 26,7 до 47,3%, возрос урожай сухой массы, сбор питательных веществ и накопление энергии корма [12]. Так, концентрация пастбищного корма увеличилась в среднем с 1047 до 3430 корм. ед. на 1 га; перевариваемого протеина – с 0,09 до 0,40 т, обменной энергии – с 11,58 до 40,50 ГДж.

Повышение продуктивности пастбищ в результате удаления и утилизации камней дало возможность увеличить нагрузку на 1 га пастбищ нагульного молодняка КРС с 1,1 до 3,6 гол., а высокая концентрация перевариваемого протеина и обменной энергии способствовали среднемесячному приросту живой массы – с 560 до 975 г. Эти изменения позволили за пастбищный период (120 дней) получить дополнительно 348 кг живой массы (421,9 кг в опытной группе, 73,9 кг – в контрольной), что при закупочной цене 265 руб./кг составило 92,22 тыс. руб.

Одним из важных параметров, влияющих на качество работы агрегата и его конструктивный вес, считается высота гребенки [4]. При малой высоте сгрудившиеся камни могут переваливаться через гребенку и засорять уже очищенное поле. А увеличение высоты гребенки приведет к утяжелению агрегата и повышению удельного давления опорных колес на тра-

вяной покров [13]. Поэтому предлагается определить необходимую высоту гребенки в зависимости от ширины ее захвата и степени засоренности поверхности поля камнями.

При этом груды камней, сгребаемых гребенкой вниз по склону в одновременно нарезаемый плугом канал, можно с некоторым приближением представить в виде пирамиды (o, c, o_1, d) (рис. 3). В ее основании находится прямоугольный равнобедренный треугольник (c, o_1, d), одним катетом которого является высота гребенки h , а другим – величина вылета камней на нижнем по склону поля обреза гребенки b . Принимаем $h = b$. Высоту пирамиды H определяем отрезком oo_1 . Она равна конструктивной ширине гребенки B_1 . Высоту гребенки выбираем из условия максимальной засоренности поля камнями $S_{\max}$, а утилизация камней в канал начинается при условии, что объем абстрагируемой пирамиды заполнился камнями, то есть $V_{\text{кам}} = V_{\text{пир}}$. Объем камней, собираемых с поверхности поля, необходимый для заполнения объема пирамиды, можно выразить как:

$$V_{\text{кам}} = \frac{P_{\text{кам}}}{\rho_{\text{кам}}} = \frac{S_{\max} \cdot S_{\text{пол}}}{\rho_{\text{кам}}} = \frac{S_{\max} \cdot B \cdot L}{\rho_{\text{кам}}}, \quad (1)$$

где $V_{\text{кам}}$ – объем камней, необходимый для заполнения объема пирамиды, м^3 ;

$P_{\text{кам}}$ – масса камней, собранных гребенкой при проходе пути L , кг;

$\rho_{\text{кам}}$ – плотность камней фракции 60-200 мм, для сбора которых предназначен агрегат, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$S_{\max}$ – максимальная величина степени засоренности поверхности поля камнями, $\text{кг}/\text{м}^2$;

$S_{\text{пол}}$ – площадь очищенного поля, при которой выполняется условие $V_{\text{кам}} = V_{\text{пир}}$, м^2 ;

B – ширина захвата гребенки, м;

L – путь, пройденный гребенкой для сбора камней, объем которых равен объему пирамиды, м.

Объем пирамиды равен:

$$V_{\text{пир}} = \frac{S_{\text{осн}} \cdot H}{3}, \quad (2)$$

где $S_{\text{осн}}$ – площадь основания пирамиды, м^2 ;

H – высота пирамиды, м.

В нашем случае этот показатель равен (рис. 2):

$$V_{\text{пир}} = \frac{0,5h^2 \cdot B_1}{3}, \quad (3)$$

где h – высота гребенки, м,

B_1 – конструктивная ширина гребенки, м.

Приравняв правые части выражений (1) и (3) и сделав преобразования относительно h , получаем выражение для определения высоты гребенки:

$$h = \sqrt{\frac{6S_{\max} \cdot B \cdot L}{B_1 \rho_{\text{кам}}}}. \quad (4)$$

Сочетание уборки камней с их утилизацией в на-

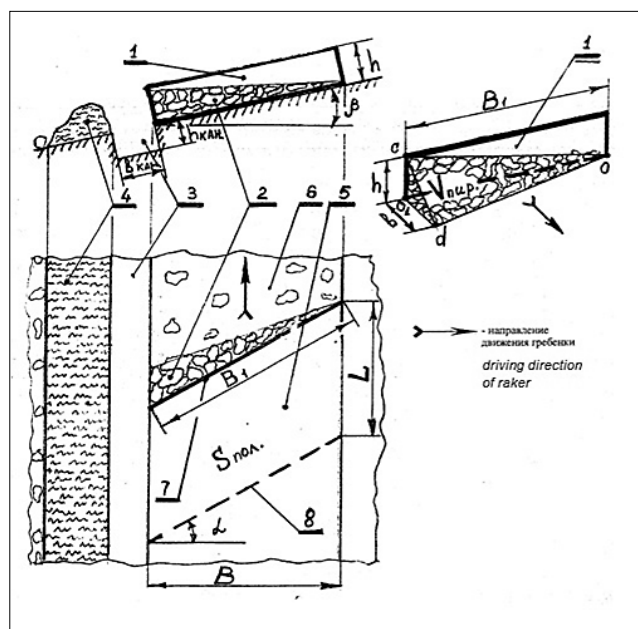


Рис. 3. Схема рабочего процесса гребенки: 1 – гребенка; 2 – камни; 3 – канал; 4 – брусстер почвы; 5 – поле очищенное; 6 – поле засоренное; 7 – положение гребенки после прохода пути L; 8 – положение гребенки до прохода пути L; B – ширина захвата гребенки; B₁ – конструктивная ширина гребенки; S_{пол.} – площадь очищенного поля; h – высота гребенки; h_{кан.} – высота канала; b – величина вылета камней; α – угол поворота гребенки; β – угол уклона пастбища

Fig. 3. Comb workflow diagram: 1 comb; 2 – stones; 3 – channel; 4 – the top soil; 5 – cleared field; 6 – clogged field; 7 – comb position after passing the path L; 8 – position comb to the passage of the path L; B – the comb width; B₁ – the structural comb width; S_{пол.} – cleared field area; h – comb height; h_{кан.} – channel height; b – the value of the stones flew out; α – the angle of comb rotation; β – pasture slope angle

резаемые каналы обеспечило не только увеличение полезной пастбищной площади, но и улучшило водно-воздушный режим почвы [14], экологическую обстановку в горной зоне, стимулируя дополнительную прибавку урожая [15].

Выводы. Применение камнеуборочного агрегата, разработанного сотрудниками СКНИИГПСХ ВНЦ РАН, позволяет очистить пастбища от 91-93% разбросанных мелких и средних камней, равномерно разравнивает навоз, оставленный животными. Камни утилизируются в каналы, которые служат фильтрами для сточных вод, обеспечивая водонасыщение нижележащим пастбищным угодьям. Установлено опытным путем, что конструктивные параметры горного навесного камнеуборочного агрегата позволяют повысить продуктивность полей и снизить эрозию горных участков.

Повышение полезной площади, улучшение водно-воздушного и питательного режимов способствовали повышению продуктивности пастбищ более чем в 3 раза.

В видовом составе кормовых трав доля бобовых возросла до 16,7%, злаковых – до 47,3%, что улучшило качество продукции.

Эти факторы способствовали увеличению площади пастбищ, повышению сбора экологически чистой продукции в 5,7 раза на общую сумму 92,22 тыс. руб./га.

Способ и малогабаритный многофункциональный агрегат для удаления камней со склонов лугов и пастбищ позволяют повысить продуктивность полей, снизить эрозию и другие деградационные процессы почвенного покрова и создать благоприятные условия для применения средств механизации на лугах и пастбищах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Солдатов И.Э., Солдатов Э.Д. Создание высокопродуктивных сенокосов и пастбищ в горной зоне Северного Кавказа // *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2017. Т. 54. N3. С. 9-14.
2. Кудзаев А.Б., Уртаев Т.А., Цгоев А.Э. Адаптивный энергосберегающий культиватор // *Сельский механизатор*. 2019. N2. С. 8-9.
3. Мирошников С.А., Сидоров Ю.Н., Докина Н.Н. Способ повышения питательности сена с естественного луга в зоне сухих степей Оренбургской области // *Вестник мясного скотоводства*. 2017. N1(97). С. 136-140.
4. Джибилов С.М., Гулуева Л.Р. Многофункциональный агрегат для улучшения горных лугов и пастбищ // *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2016. Т. 53. N3. С. 103-111.
5. Кудзаев А.Б., Уртаев Т.А. Адаптивный энергосберегающий культиватор для обработки каменистых почв // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2015. Т. 9. N2. С. 28-32.
6. Джибилов С.М., Гулуева Л.Р. Способ восстановления горных кормовых угодий // *Аграрный Вестник Урала*. 2018. N7(174). С. 3.
7. Кудзаев А.Б., Ридный С.Д., Ридный Д.С. Качество обработки пласта почвы рабочими органами машины для поиска крупных камней // *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2018. Т. 55. N4. С. 186-198.
8. Мамиев Д.М. Перспективы развития биологического земледелия в РСО-Алания // *Научная жизнь*. 2019. Т. 14. N9(97). С. 1396-1402.
9. Дзанагов С.Х., Бестаев В.В., Лазаров Т.К., Цуциев Р.А. Плодородие почв Северной Осетии-Алании // *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2019. Т. 56. N2. С. 47-54.
10. Новоселов С.И., Кузьминых А.Н., Еремеев Р.В. Плодородие почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур в зависимости от основной обработки и севооборота //

Плодородие. 2019. N6(111). С. 22-25.

11. Аканова Н.И., Визирская М.М. Эффективные агрохимические средства повышения рентабельности растениеводства // *Плодородие*. 2019. N2(107). С. 57-60.

12. Лысиков А.В. Экономическая эффективность повышения продуктивности старосеяного сенокоса // *Кормопроизводство*. 2018. N9. С. 6-8.

13. Kudzaev A.B., Urtaev T.A., Tsgoev A.E., Korobeynik I.A., Tsgoev D.V. Adaptive energy-saving cultivator equipped with the simultaneous adjuster of sections for working stony soils.

International Journal of Mechanical Engineering and Technology. 2017. Vol. 8. N11. 714–720.

14. Kyul E.V., Apazhev A.K., Kudzaev A.B., Borisova N.A.. Influence of anthropogenic activity on transformation of landscapes by natural hazards. *Indian Journal of Ecology*. 2017. Vol. 44. N2. 239-243.

15. Kudzaev A.B., Urtaev T.A., Tsgoev A.E., Korobeynik I.A., Tsgoev D.V. Study of elastic composite rods for creating fuses of tilthers. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2017. Vol. 8. N11. 658-666.

REFERENCES

1. Soldatova I.E., Soldatov E.D. Sozдание vysokoproduktivnyh senokosov i pastbishch v gornoj zone Severnogo Kavkaza [Creation of highly productive hayfields and pastures in the mountainous zone of the North Caucasus] // *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2017. N54/3. 9-14 (In Russian).

2. Kudzaev A.B., Urtaev T.A., Tsgoev A.E. Adaptivnyy energosberegayushchiy kul'tivator [Adaptive energysaving cultivator]. *Rural machine operator*. 2019.N2. 8-9 (In Russian).

3. Miroshnikov S.A., Sidorov Yu.N., Dokina N.N. Sposob povysheniya pitatel'nosti sena s estestvennogo luga v zone suhih stepej orenburgskoj oblasti [A way to increase the nutritional value of hay from a natural meadow in the dry steppes of the Orenburg region]. *Bulletin of meat cattle breeding*. 2017. N1 (97). 136-140 (In Russian).

4. Dzhibilov S.M., Gulueva L.R. Mnogofunkcional'nyj agregat dlya uluchsheniya gornyh lugov i pastbishch [Multifunctional unit for improving mountain meadows and pastures]. *Proceedings of Gorsky State Agrarian University*. 2016. N53/3. 103-111 (In Russian).

5. Kudzaev A.B., Urtaev T.A. Adaptivnyy energosberegayushchiy kul'tivator dlya obrabotki kamenistyykh pochv [Adaptive energy-saving cultivator for processing stony soils]. *Agricultural Machines and Technologies*. 2015. N2. 28-32 (In Russian).

6. Dzhibilov S.M., Gulueva L.R. Sposob vosstanovleniya gornyh kormovykh ugodiy [The method of restoration of mountain grassland]. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2018. N7 (174). 3 (In Russian).

7. Kudzaev A.B., Ridny S.D., Ridny D.S. Kachestvo obrabotki plasta pochvy rabochimi organami mashiny dlya poiska krupnykh kamney [Quality of soil treatment by working bodies of a machine for searching for large stones]. *Proceedings of the Gorsky State Agrarian University*. 2018. N55/4. 186-198 (In Russian).

8. Mamiev D.M. Perspektivy razvitiya biologicheskogo zem-

ledeliya v RSO-Alaniya [Prospects for the development of biological farming in North Ossetia-Alania]. *Scientific life*. 2019. Vol. 14. N9(97). 1396-1402 (In Russian).

9. Dzanagov S.Kh., Bestaev V.V., Lazarov T.K., Tsutsiev R.A. Plodorodie pochv Severnoj Osetii-Alanii. [Soil fertility in North Ossetia-Alania]. *Bulletin of the Gorsky State Agrarian University*. 2019. N56/2. 47-54 (In Russian).

10. Novoselov S.I., Kuzminykh A.N., Ereemeev R.V. Plodorodie pochvy i produktivnost' sel'skohozyajstvennykh kul'tur v zavisimosti ot osnovnoj obrabotki i sevooborota [Soil fertility and crop productivity depending on the main cultivation and crop rotation]. *Fertility*. 2019. N6(111). 22-25 (In Russian).

11. Akanova N.I., Vizirskaya M.M. Effektivnye agrokhimicheskie sredstva povysheniya rentabel'nosti rastenievodstva [Effective agrochemical means of increasing the profitability of crop production]. *Fertility*. 2019. N2(107). 57-60 (In Russian).

12. Lysikov A.V. Ekonomicheskaya effektivnost' povysheniya produktivnosti staroseyanogo senokosa [Economic efficiency of increasing the productivity of old-sown haymaking]. *Forage Production*. 2018. N9. 6-8 (In Russian).

13. Kudzaev A.B., Urtaev T.A., Tsgoev A.E., Korobeynik I.A., Tsgoev D.V. Adaptive energy-saving cultivator equipped with the simultaneous adjuster of sections for working stony soils. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2017. Vol. 8. N11. 714–720 (In English).

14. Kyul E.V., Apazhev A.K., Kudzaev A.B., Borisova N.A. Influence of anthropogenic activity on transformation of landscapes by natural hazards. *Indian Journal of Ecology*. 2017. V. 44. No.2.Pp. 239–243 (In English).

15. Kudzaev A.B., Urtaev T.A., Tsgoev A.E., Korobeynik I.A., Tsgoev D.V. Study of elastic composite rods for creating fuses of tilthers. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2017. Vol. 8. N11. 658–666 (In English).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 09.01.2020
The paper was submitted
to the Editorial Office on 09.01.2020

Статья принята к публикации 15.04.2020
The paper was accepted
for publication on 15.04.2020

Применение техники и технологии для промывки сильнозасоленных почв

Фазлиддин Уринович Жураев,
доктор технических наук, доцент кафедры,
e-mail: fjuraev66@mail.ru;

Фуркат Шодиевич Мусулманов,
соискатель

Бухарский филиал Ташкентского института инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства,
г. Бухара, Республика Узбекистан

Реферат. Восстановить плодородие почв можно с помощью специальных технологий и техники. В частности, для рыхления земель с плотными и загипсованными слоями почвы разрабатывают чизели, а на засоленных землях с высоким уровнем грунтовых вод прокладывают кротовые дрены. (*Цель исследования*) Обосновать параметры и технологии применения энергосберегающих чизельных рабочих органов для рыхления плотных и загипсованных прослоек почвы, а также устройств для формирования кротовых дрен в подпахотных слоях засоленных почв. (*Материалы и методы*) Использовали современные методы и приборы для обоснования параметров чизельного рыхлителя и дренажно-кротового орудия. Представили схему проведения экспериментов на опытно-производственном участке. Изучили механический состав и степень засоленности почвы на опытном поле. (*Результаты и обсуждение*) Определили эффективность рыхления почвы перед промывкой с помощью разработанного чизельного рыхлителя. Для прокладки кротового дренажа на тяжелосуглинистых сильнозасоленных почвах предложили устройство, которое отличается от аналогов тем, что имеет раму из двух частей. (*Выводы*) Обеспечили качественное выполнение технологического процесса для удаления вредных солей из плодородных слоев почвы. Выявили, что разуплотнение почвы чизелем на глубине 0,45 метра, а после вспашки на глубине 0,35 метра с последующей промывкой почвы снижает содержание солей с 0,978 процента до 0,198-0,578 процента, при этом коэффициент рассоления составил 1,7-4,9. Сократили продолжительность промывных поливов на 15 дней по сравнению с традиционной обработкой. Показали, что благодаря дополнительной обработке почвы в случае нехватки воды норму промывки можно уменьшить с 6500 кубометров на гектар до 4500 или 5500 кубометров. Определили, что применение предложенной технологии уменьшает расход энергии на 9,0-14,5 процента, затраты труда на 7,91-14,11 процента, эксплуатационные расходы на 8,16-11,0 процента, увеличивает производительность труда на 16,3-18,0 процента, что обеспечивает годовую экономическую эффективность в размере 11,6-12,6 миллиона сумов.

Ключевые слова: мелиорация, чизельный рыхлитель, рыхление почвы, дренажно-кротовое орудие, сильнозасоленные почвы, промывка засоленных почв, тяжелосуглинистые почвы, коэффициент рассоления почв.

■ **Для цитирования:** Жураев Ф.У., Мусулманов Ф.Ш. Применение техники и технологии для промывки сильнозасоленных почв // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №2. С. 29-33. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-29-33.

Equipment and Technology Application for Washing Highly Saline Soils

Fazliddin U. Zhuraev,
Dr.Sc.(Eng.), associate professor of the department,
e-mail: fjuraev66@mail.ru;

Furkat Sh. Musulmanov,
applicant

Bukhara branch of the Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Bukhara, Republic of Uzbekistan

Abstract. Soil fertility can be restored using special technologies and equipment. In particular, chisels are developed for loosening lands with dense and gypsum soil layers, and mole drains are laid on saline lands with a high level of groundwater. (*Research purpose*) To substantiate the parameters and technologies for using energy-saving chisel working parts for loosening dense and gypsum soil layers, as well as devices for forming mole drains in subsurface layers of saline soils. (*Materials and methods*) Modern methods and devices were used to justify the parameters of the chisel ripper and the mole drainage tools. The authors presented the scheme of experiments at the pilot production area. They studied the mechanical composition and the degree of soil

salinity in the experimental field. (*Results and discussion*) The authors determined the soil loosening effectiveness before washing using the developed chisel cultivator. For laying mole drainage on heavily loamy highly saline soils a device was proposed that differs from its analogues in that it has a two-part frame. (*Conclusions*) The authors ensured the high-quality execution of the technological process for the harmful salts removal from the fertile soil layers. It was found that soil decomposition with the chisel at a depth of 0.45 meters, and after plowing at a depth of 0.35 meters followed by soil washing, reduced the salt content from 0.978 percent to 0.198-0.578 percent, at the same time the desalinization coefficient was 1.7-4.9. The duration of irrigation was reduced by 15 days compared to traditional process. The authors showed that due to additional tillage in case of water shortage, the flushing rate could be reduced from 6500 cubic meters per hectare to 4500 or 5500 cubic meters. They determined that the application of the proposed technology reduced energy consumption by 9.0-14.5 percent, labor costs by 7.91-14.11 percent, operating costs by 8.16-11.0 percent, increased labor productivity by 16.3-18.0 percent, and that ensured annual economic efficiency in the amount of 11.6-12.6 million soums.

Keywords: reclamation, chisel cultivator, soil loosening, drainage and mole implement, highly saline soil, saline soil leaching, heavy loamy soil, soil desalinization coefficient.

For citation: Zhuraev F.U., Musulmanov F.SH. *Primenenie tekhniki i tekhnologii dlya promyvki sil'nozsolennykh pochv* [Equipment and technology application for washing highly saline soils]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. T. 14. N2. 29-33 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-29-33.

Согласно данным ФАО, в мире насчитывается 44-46% посевных площадей, засоленных в разной степени. Восстановить их плодородие можно с помощью специальных технологий и техники. В частности, для рыхления земель с плотными и загипсованными слоями почвы разрабатывают чизели, а на засоленных землях с высоким уровнем грунтовых вод прокладывают кротовые дрены. Продолжается изучение технологических процессов применения этих устройств для повышения эффективности мелиоративных мероприятий на сильнозасоленных плотных почвах с гипсовыми прослойками [1-3].

В результате разработаны технологии и технические средства для улучшения мелиоративного состояния земель, рыхления подпахотных слоев почвы, создания открытых и закрытых дрен. Применение их в сельском хозяйстве дало положительные результаты [4-6]. Однако на орошаемых засоленных землях с близко расположенными грунтовыми водами эти вопросы изучены недостаточно.

Цель исследования – обосновать параметры и технологии применения энергосберегающих чизельных рабочих органов для рыхления плотных и загипсованных прослоек почвы, а также устройств для формирования кротовых дрен в подпахотных слоях засоленных почв.

Материалы и методы. В ходе исследований использованы методы системного анализа, фундаментальные законы и положения теоретической механики, высшей математики и математической статистики, математического планирования и тензометрирования, а также существующие нормативные документы (*Tst 63.03.2001*, *Tst 63.04.2001*), «Методика проведения полевых экспериментов» Научно-исследовательского института семеноводства и агротехнологии и рекомендации по улучшению мелиоративного состояния засоленных почв.

Результаты и обсуждение. Изучили эффектив-

ность рыхления почвы перед промывкой с помощью разработанного чизельного рыхлителя, чтобы разрушить загипсованные и плотные прослойки без перемешивая с плодородными слоями, не превышая критической глубины обработки стрельчатыми рабочими органами (*рис. 1*). Чизель разрезает плотный слой без перемещения и смешивания с верхними слоями почвы (*патент РУЗ № UZ FAP 01070*).

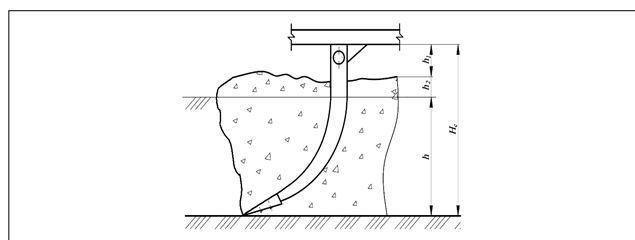


Рис. 1. Схема чизельного глубокорыхлителя
 h – глубина обработки почвы; h_1 – расстояние от нижней части рамы до поверхности почвы; h_2 – вспушенность обработанного слоя; H_c – общая высота стойки

Fig. 1. A chisel deep-ripper scheme
 h – the tillage depth; h_1 – the distance from the bottom of the frame to the soil surface; h_2 – fluffiness of the treated layer; H_c – total rack height

Высоту стойки чизельного глубокорыхлителя определяют по формулам [1,3]:

$$\begin{aligned} h &= 0,4-0,5 \text{ м}; h_1 = 0,3-0,4 \text{ м}; \\ h_2 &= h/4 = (0,4-0,5)/4 = 0,1-0,125 \text{ м}; \\ H_c &= h + h_1 + h_2 = (0,4-0,5) + (0,3-0,4) + (0,1-0,125) = \\ &= 0,8-1,02 \text{ м}. \end{aligned}$$

Общую высоту стойки исходя из условия разуплотнение загипсованной или плотной прослойки будем принимать в пределах $H_c = 0,9-1,0$ м.

Чизель не забивается растительными остатками и почвой и отвечает агротехническим и энергетиче-

ским требованиям к орудию для применения перед промывкой загипсованных и плотных прослоек почв в орошаемом земледелии.

Для прокладки кротового дренажа на тяжелосуглинистых сильнозасоленных почвах предложили устройство, которое отличается от аналогов тем, что имеет раму из двух частей (рис. 2). Переднюю часть навешивают на трактор, а заднюю с помощью трехточечного шарнирного соединения устанавливают на переднюю (патент РУЗ № UZ FAP 00727).

В рабочем положении орудие плавно заглубляется и занимает устойчивое положение хода на заданной глубине кротового дренажа – 0,6; 0,7 и 0,8 м. Следует отметить меньшую металлоемкость конструкции по сравнению с аналогами (патент РУЗ № UZ FAP 00832) [7, 8].

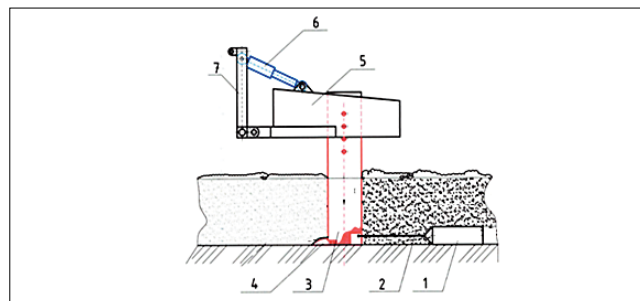


Рис. 2. Дренажно-кротовое устройство

1 – конус-цилиндр; 2 – стальной трос; 3 – стойка; 4 – долото; 5 – подвижная рама; 6 – гидроцилиндр; 7 – неподвижная рама
Fig. 2. Mole-drainage device

1 – cone-cylinder; 2 – steel cable; 3 – rack; 4 – chisel; 5 – movable frame; 6 – hydraulic cylinder; 7 – fixed frame

Экспериментальные исследования проводили в фермерском хозяйстве «Бешголиблар» Гидуванского района Бухарской области в 2013-2014 гг. (рис. 3).

С двух сторон опытного поля открыли коллекторы, в том числе временный. Провели обработку чизельным глубокорыхлителем и дренажно-кротовым орудием.

На опытном участке 18 га выделили 3 поля по 6 га. Содержание водорастворимых солей в почве составляет 0,978% сухого остатка. Грунтовые воды расположены близко – на глубине 1,0-1,2 м.

На экспериментальном поле в обрабатываемых слоях почвы, согласно описанию Н.А. Качинского, преобладают тяжелый и средний суглинок (табл. 1).

Каждое поле разделили на три участка. Первый вариант – контрольный (без рыхления и дренажа). Во втором варианте рыхлили почву на глубину 0,45 м и проводили вспашку на глубину 0,35 м. В третьем – осуществляли вспашку на 0,35 м и кротовый дренаж на глубине 0-0,60 м при расстоянии между дренами 2-3 м.

На первом поле промывная норма равна 4500 м³/га, на втором – 5500 м³/га и на третьем – 6500 м³/га (табл. 2).

В полевых экспериментах промывные нормы по-

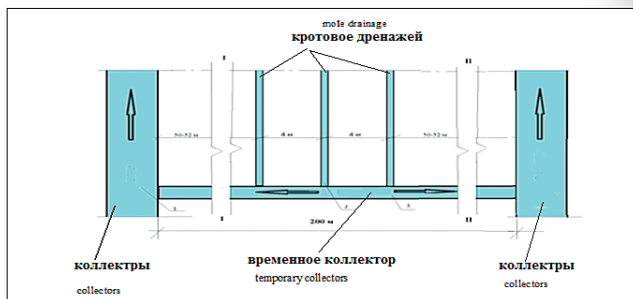


Рис. 3. Схема опытно-производственного участка

Fig. 3 The experimental production area scheme.

давали зимой: на первом поле – в 2 такта (то есть дважды с перерывом в 1 мес., примерно равными долями), на втором и третьем полях – в 3 такта.

Все три варианта технологии, независимо от промывной нормы, показали снижение содержания солей в почве (табл. 2). Наилучшие результаты достигнуты в третьем варианте технологии, то есть при вспашке и дренаже. Вполне закономерно, что максимальный эффект отмечен при норме промывки 6500 м³/га: содержание солей снизилось с 0,978 до 0,132%, коэффициент рассоления достиг 7,4.

При технологии по третьему варианту продолжительность промывных поливов сокращается на 15 дней по сравнению с контролем, что обеспечивает своевременное начало весенних сельскохозяйственных работ. В годы с достаточным количеством воды можно провести промывку почв нормой 6500 м³/га, а в случае нехватки воды – нормами 4500 или 5500 м³/га на фоне рыхления почвы на глубину 0,45 м и кротового дренажа на глубине 0-0,6 м, которые обеспечивают высокую эффективность промывок.

Во всех 9 вариантах опытов расход дизтоплива при проведении пахоты был примерно одинаковым – 40-45 кг/га. В случае с предварительной обработкой чизелем на глубину 0,45 этот показатель снизился до 38-42 кг/га. В третьем варианте, при дополнительной работе дренажно-кротового орудия, расход дизтоплива был еще меньше – 35-38 кг/га. Для сильнозасоленных почв самым экономичным по расходу воды и эффективным в плане рассоления считается вариант обработки с дренажно-кротовым орудием.

Для расчета технико-экономической эффективности разработанных орудий с обоснованными параметрами использовали нормативно-справочный материал для экономической оценки сельскохозяйственной техники и машин [9-11]. Как показали расчеты, применение чизельного рыхлителя на почвах с загипсованными и плотными прослойками и дренажно-кротового орудия на засоленных почвах позволяет уменьшить расход энергии на 9-14,5%, затраты труда на 7,91-14,11%, эксплуатационные расходы на 8,16-11,0%, увеличить производительность труда на 16,3-18,0%, что в целом выражается в годовой экономической эффективности, равной 11,6-12,6 млн сумов.

Таблица 1
Table 1

МЕХАНИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВЫ ОПЫТНОГО ПОЛЯ MECHANICAL COMPOSITION OF THE EXPERIMENTAL FIELD SOIL									
Глубина слоев, мм Layers depth, mm	Фракции, мм / Fractions, mm							Сумма физического состава почвы <0,01 мм, % The sum of the soil physical composition <0.01 mm, %	Тип почв Soil type
	0,25-1,00	0,10-0,25	0,05-0,10	0,01-0,05	0,005-0,01	0,001-0,005	<0,001		
0-43	1,09	11,78	21,99	23,52	11,78	14,43	16,40	42,61	тяжелый суглинок heavy loam
43-88	2,70	11,15	23,27	18,86	12,22	14,46	16,34	43,02	тяжелый суглинок heavy loam
89-152	0,29	9,44	30,55	26,04	9,28	12,06	12,34	33,68	средний суглинок medium loam
153-183	2,09	8,94	32,61	27,78	9,16	10,00	9,42	28,58	легкие песчаные light sand
>183	12,29	17,61	30,96	29,86	3,44	4,54	1,30	9,28	липкий песок sticky sand

Таблица 2
Table 2

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО РАССОЛЕНИЮ DESALINATION EXPERIMENT RESULTS									
Показатели Indicators	Промывная норма, м³/га / Leaching requirement, m³/ha								
	4500			5500			6500		
Варианты Variants	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Содержание солей, % Salt content	0,704	0,578	0,467	0,596	0,464	0,389	0,432	0,198	0,132
Коэффициент рассоления Desalination coefficient	1,4	1,7	2,1	1,6	2,1	2,5	2,2	4,9	7,4

Выводы. Предложили конструкции чизельного глубокорыхлителя и дренажно-кротового орудия с оптимальными параметрами. Обеспечили качественное выполнение технологического процесса для удаление вредных солей из плодородных слоев почвы.

Выявили, что разуплотнение почвы чизелем на глубине 0,45 м, а после вспашки на глубине 0,35 м с последующей промывкой почвы снижает содержание солей с 0,978 процента до 0,198-0,578%, при этом коэффициент рассоления составил 1,7-4,9. Сократили продолжительность промывных поливов на 15 дней

по сравнению с традиционной обработкой. Показали, что благодаря дополнительной обработке почвы в случае нехватки воды норму промывки можно уменьшить с 6500 м³/га на гектар до 4500 или 5500 м³/га. Определили, что применение предложенной технологии уменьшает расход энергии на 9,0-14,5%, затраты труда на 7,91-14,11%, эксплуатационные расходы на 8,16-11,0%, увеличивает производительность труда на 16,3-18,0%, что обеспечивает годовую экономическую эффективность в размере 11,6-12,6 млн сумов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Труфанов В.В. Глубокое чизелевание почвы. М.: Агропромиздат. 1989. 142 с.
2. Панков Е.И., Конюшков М.В., Горохова И.Н. О проблеме оценки засоленности почв и методике крупномасштабного цифрового картографирования засоленных почв // *Экосистемы: экология и динамика*. 2017. №1. С. 26-54.
3. Муродов Н.М., Жураев Ф.У. Обоснование параметров орудий для разуплотнения загипсированных почв // *Аграрная наука*. 2014. №11. С. 30-31.
4. Egidijus K., Rostislav Ch., Miloslav L., Vytenis J. Wear modelling of soil ripper tine in sand and sandy clay by discrete element method. *Biosystems Engineering*. 2019. Vol. 188. 305-319.
5. Тухтакузиев А. Обеспечение равномерности глубины обработки почвы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №3. С. 34-38.
6. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И. Оптимальный профиль передней поверхности чизельного рабочего органа // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №2. С. 26-30.
7. 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.

8. Хамидов М.Х., Жураев Ф.У. Устройство и принципы работы дренажно-котового орудия // *Irrigatsiya va Mellioratsiya*. 2017. N1(7). С. 9-12.

9. Маматов Ф.М., Батиров З.Л., Халилов М.Х., Холияров Е.Б. Трехъярусное внесение удобрений тукопроводом-распределителем глубокихлителя // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. N4. С. 48-53.

10. Ibrahim A., Bentaher H., Hbaieb M., Maalej A., Mouazen A.M. Study the effect of tool geometry and operational conditions on mouldboard plough forces and energy requirement: Part 1. Finite element simulation. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2015. 117. 258-267.

11. Isoqova Z.X. Parameters of artificial pipe forming working apparatus. *European science review scientific journal*. 2018. N9-10. 181-182.

REFERENCES

1. Trufanov V.V. Glubokoe chizelevanie pochvy [Deep chizelo-
vanie soil]. Moscow: Agropromizdat. 1989. 142 (In Russian).

2. Pankov E.I., Konyushkov M.V., Gorokhova I.N. O probleme otsenki zasolennosti pochv i metodike krupnomasshtabnogo tsifrovogo kartografirovaniya zasolennykh pochv [About the problem of soils assessing salinity and the large-scale digital mapping methodology of saline soils]. *Ekosistemy: ekologiya i dinamika*. 2017. N1. 26-54 (In Russian).

3. Murodov N.M., Zhuraev F.U. Obosnovanie parametrov orudiy dlya razuplotneniya zagipsirovannykh pochv [Justification of the parameters of gypsum soils decompression tools]. *Agrarnaya nauka*. 2014. N11. 30-31 (In Russian).

4. Egidijus K., Rostislav Ch., Miloslav L., Vytenis J. Wear modelling of soil ripper tine in sand and sandy clay by discrete element method. *Biosystems Engineering*. 2019. Vol. 188. 305-319 (In English).

5. Tukhtakuziev A. Obespechenie ravnomernosti glubiny obrabotki pochvy [Ensuring uniformity of soil cultivation depth]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2019. Т. 13. N3. 34-38 (In Russian).

6. Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I. Optimal'nyy profil' peredney poverkhnosti chizel'nogo rabocheho organa [Optimal profile of the chisel working body front surface]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2018. Т. 12. N2. 26-30 (In Russian).

sian).

7. Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I. Teoreticheskie i tekhnologicheskie aspekty raboty rykhlytel'nogo rabocheho organa [Theoretical and technological aspects of the work of the cultivating working part]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2016. Т. 10. N5. 17-23 (In Russian).

8. Khamidov M.Kh., Zhuraev F.U. Ustroystvo i printsipy raboty drenazhno-krovovogo orudiya [The device and operation principles of the drainage-mole gun]. *Irrigatsiya va Mellioratsiya*. 2017. N1(7). 9-12 (In Russian).

9. Mamatov F.M., Batirov Z.L., Khalilov M.Kh., Kholiyarov E.B. Trekh'yarusnoe vnesenie udobreniy tukoprovodom-raspre-
delitelem glubokorykhlytelya [Three-tier fertilizer application with a fertilizer-distributor subsoiler]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2019. Т. 13. N4. 48-53 (In Russian).

10. Ibrahim A., Bentaher H., Hbaieb M., Maalej A., Mouazen A.M. Study the effect of tool geometry and operational conditions on mouldboard plough forces and energy requirement: Part 1. Finite element simulation. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2015. 117. 258-267 (In English).

11. Isoqova Z.Kh. Parameters of artificial pipe forming working apparatus. *European science review scientific journal*. 2018. N9-10. 181-182 (In English).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 25.11.2019
The paper was submitted
to the Editorial Office on 25.11.2019

Статья принята к публикации 15.04.2020
The paper was accepted
for publication on 15.04.2020

Анализ показателей качества технической конопли, линии для ее переработки и однотипной пеньки

Эдуард Валерьевич Новиков,
кандидат технических наук, ведущий научный
сотрудник, e-mail: edik1@kmt.ru;

Ирина Николаевна Алтухова,
старший научный сотрудник,
e-mail: i.altuhova@fncl.ru;
Басова Наталья Владимировна,
научный сотрудник, e-mail: n.basova@fncl.ru

Федеральный научный центр лубяных культур, г. Тверь, Российская Федерация

Реферат. В рамках импортозамещения для первичной переработки стратегического сырья в виде технической конопли важно создать альтернативу зарубежным агрегатам, внедряя современные отечественные технологии и линии. *(Цель исследования)* Обосновать технологическую схему линии переработки технической конопли в однотипную пеньку, характеристики сырья и волокна низкой себестоимости для первичной переработки технической конопли в виде спутанной массы стеблей неполной длины, убранной зерноуборочным или специализированным комбайном. *(Материалы и методы)* Рулоны конопли весенней уборки перерабатывали по двум вариантам: однократный и двукратный пропуск сырья через линию, после чего определяли показатели качества однотипной пеньки. *(Результаты и обсуждение)* Выяснили, что коноплесырье имеет поломанные и спутанные стебли длиной 36-470 миллиметров, высокой отделяемости, с содержанием волокна 26-30 процентов, но с небольшой разрывной нагрузкой 13-17 килограмм-сил. Определили, что выход волокна при однократном пропуске составил 28-29 процентов, при двукратном – 22-23 процента. Показали, что двукратный пропуск снижает массовую долю костры на 3-4 процента в абсолютном выражении и уменьшает разрывную нагрузку не более чем на 2 килограмм-силы. Выявили низкое содержание пороков: массовая доля костры не более 7,1 процента, отсутствие «лапы». Однако из-за минимального значения разрывной нагрузки волокна пеньку отнесли к низшему сорту. *(Выводы)* Обосновали схему малогабаритной и малозатратной отечественной линии для первичной переработки технической конопли. Определили значения показателей качества однотипной пеньки и ее выход при различных условиях первичной переработки. Вычислили долю влияния второго пропуска через линию на качественные показатели: выход волокна – 97,3 процента; разрывную нагрузку скрученной ленточки – 42,4 процента; массовую долю костры – 75,3 процента; среднюю массодлину – 61,2 процента; средневзвешенную линейную плотность – 99,1 процента.

Ключевые слова: техническая конопля, однотипная пенька, первичная переработка технической конопли, малозатратная линия, сорт пеньки, массовая доля костры, линейная плотность и массодлина волокна, разрывная нагрузка волокна.

■ **Для цитирования:** Новиков Э.В., Алтухова И.Н., Басова Н.В. Анализ показателей качества технической конопли, линии для ее переработки и однотипной пеньки // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №2. С. 34-40. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-34-40.

Analysis of Industrial Hemp Quality Indicators, a Line for Its Processing and Hemp Short

Eduard V. Novikov,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: edik1@kmt.ru;

Irina N. Altukhova,
senior researcher, e-mail: i.altuhova@fncl.ru;
Natalya V. Basova,
researcher, e-mail: n.basova@fncl.ru

Federal Research Center for Fibre Crops, Tver, Russian Federation

Abstract. It is important to create foreign units alternative, introducing modern domestic technologies and lines in the framework of import substitution for the primary processing of strategic raw materials in the industrial hemp form. *(Research purpose)* To substantiate the technological scheme of the line for processing industrial hemp into the hemp short, the characteristics of raw materials and low-cost fibers for the primary processing of industrial hemp in the form of tangled mass of incomplete length stems, harvested by a specialized combine. *(Materials and methods)* Hemp rolls of spring harvesting were processed according to two

options: single and double way of raw materials through the line, after which the hemp short quality indicators were determined. (*Results and discussion*) The authors found out that hemp raw material had broken and tangled stems 36-470 millimeters long, of high separability, with a fiber content of 26-30 percent, but with a small breaking load of 13-17 kilogram-forces. They determined that the fiber yield with a single way was 28-29 percent, with a double way – 23-22 percent. It was shown that a double pass reduced the mass fraction of shives by 3-4 percent in absolute terms and reduced the breaking load by no more than 2 kilogram-force. A low content of defects was revealed: the mass fraction of shives was no more than 7.1 percent, the absence of a “paw”. However, due to the minimum breaking load of the fiber, hemp was assigned to the lower grade. (*Conclusions*) The authors substantiated the scheme of small-sized and low-cost domestic line for the industrial hemp primary processing. They determined the quality indicators values of the hemp short and its output under various conditions of primary processing. The influence share of the second way through the line on the quality indicators was calculated: fiber yield – 97.3 percent; the breaking load of the twisted ribbon is 42.4 percent; mass fraction of shives – 75.3 percent; the average mass length is 61.2 percent; the weighted average linear density is 99.1 percent.

Keywords: industrial hemp, the hemp short, industrial hemp primary processing, low-cost line, hemp variety, mass fraction of shives, linear density and mass length of fiber, breaking load of fiber.

■ **For citation:** Novikov E.V., Altukhova I.N., Basova N.V. Analiz pokazateley kachestva tekhnicheskoy konopli, linii dlya ee pererabotki i odnotipnoy pen'ki [Analysis of industrial hemp quality indicators, a line for its processing and hemp short]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N2. 34-40 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-34-40.

Техническую коноплю (*Cannabis sativa L.*) используют для производства волокна, в строительстве, семена служат ценным сырьем в пищевой и фармацевтической промышленности [1, 2]. В результате новых научных разработок расширяется сфера применения конопли при производстве композитов, геотекстиля, биотоплива, ПЭТ-тары, бумаги и различной целлюлозы, что свидетельствует о формировании стратегического направления в экономике России [3-6].

В нашей стране техническую коноплю возделывают в разных регионах России: Республике Мордовия, Нижегородской, Пензенской, Самарской, Орловской, Курской, Липецкой, Тамбовской, Белгородской, Воронежской и других областях [4, 5, 7].

Почти все российские пенькозаводы перерабатывают техническую коноплю, убранный зерноуборочным или специализированным комбайном. При переработке стеблей весенней уборки (именно ей отдается приоритет в России) линию по переработке можно значительно упростить, а также включить в нее по одной или несколько мьяльных и трясыльных машин. Малозатратные малогабаритные линии широко используют в Украине [8, 9].

Анализ технологического оборудования для переработки технической конопли в России показал, что обычно применяют отечественные агрегаты или отдельные машины для производства короткой пеньки или зарубежные агрегаты, зачастую предназначенные для переработки льна. До сих пор в нашей стране не изучали эффективность тех или иных технологий первичной переработки конопли, поэтому практически не известны характеристики сырья и получаемой из него одностипной пеньки. Данные о первичной переработке параллелизованных стеблей коноп-

ли полной длины путем их разреза, о свойствах отдельных частей стеблей (комлей и вершин) не дают никаких представлений о характеристиках современного сырья и волокна из него, так как комли и вершины распределены в слое хаотично [10, 11].

Из вышеизложенного следует, что в РФ для нового коноплесырья необходимы:

- научно обоснованные отечественные технологии и линии для эффективной послеуборочной первичной переработки технической конопли в одностипную пеньку;
- использование этих технологий и линий в импортозамещающем производстве высококачественного волокна;
- значения характеристик сырья и волокна для его дальнейшей глубокой переработки в различные изделия.

Цель исследования – обосновать технологическую схему линии переработки технической конопли в одностипную пеньку, характеристики сырья и волокна низкой себестоимости для первичной переработки технической конопли в виде спутанной массы стеблей неполной длины, убранный зерноуборочным или специализированным комбайном.

Материалы и методы. Из Пензенской области привезли два одинаковых рулона технической конопли весенней уборки, масса каждого из них составила по 110 кг, диаметр 1,0 м, высота 1,1 м (рис. 1).

Рулоны перерабатывали на линии, установленной в ООО «НЛСС» (Нерехтская льносеменоводческая станция) Костромской области, которая предназначена прежде всего для переработки льносырья. В линию входят дезинтегратор ДЛВ-2, горизонтальный пластинчатый разгрузитель волокна ВУЛ системы И.Н. Левитского и две трясыльные машины с нижним



Рис. 1. Рулон тресты технической конопли: а – вид сбоку; б – треста внутри рулона после ручной разборки

Fig. 1. Roll of industrial hemp trunks: a – a side view; b – trunks inside the roll after manual disassembly

гребенным полем (рис. 2).

Рулоны разбирали вручную на отдельные порции и так же вручную подавали в дезинтегратор. Средняя влажность конопли составляла 14%. Пыль, костра и мелкие волокна из разгрузителя удалялись вентилятором и поступали в циклон, установленный за цехом.

Механическую переработку рулонов конопли осуществляли по двум вариантам:

- однократный пропуск через линию первичной переработки (рис. 2);
- двукратный пропуск: после первого пропуска волокно снова вручную подавали на эту же линию.

Параметры работы машин не изменяли: частота вращения ротора дезинтегратора ДЛВ-2 – 1000 мин⁻¹, частота качаний игольчатых валиков трясильных машин – 230 мин⁻¹.

У коноплесырья и полученной однотипной пеньки одно- и двукратного пропуска определяли следующие характеристики: среднюю длину поломанных стеблей, их диаметр, содержание волокна в тресте, среднюю массодлину и линейную плотность, а также характеристики по ГОСТ 9993-74 «Пенька короткая. ТУ» для определения сорта пеньки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. После обмолота и кошения осенью стебли оставили в поле до весенней

уборки. Поэтому рулоны имели серый цвет (рис. 1а, 1б). Ручная разборка рулона выявила однородность массы конопли внутри рулона, с немногочисленными потемневшими участками, близкими к началу гниения с высокой отделяемостью, масса имела поломанные и спутанные между собой стебли различной длины. Конопляную тресту определили как стланцевую, с частично отделившейся от волокна кострой, однородную по влажности, что говорит о том, что она была запрессована в достаточно сухую погоду, а значит, это легкообрабатываемая треста.

Органолептический анализ рулонов и сырья в нем показал, что определить сорт пеньки по существующему стандарту ГОСТ 27345-87 «Треста конопляная» невозможно, так как целые стебли в массе (полной длины) отсутствуют.

Анализ значений характеристик исходной технической конопли из двух рулонов показал, что средняя длина поломанных стеблей не превысила 220 мм, ее минимальные и максимальные значения варьируются в широком интервале – от 36 до 470 мм (таблица). Значения содержания волокна в тресте и отделяемости волокна от древесины достаточно высокие с низким значением разрывной нагрузки – 16,9 и 13,5 кгс. Небольшая разрывная нагрузка волокна связана с вылежкой сырья в поле с осени до весны. Инструментальный метод оценки определили представленное для переработки коноплесырья весенней уборки как легкообрабатываемое.

Выход однотипной пеньки по отношению к исходному сырью после однократного пропуска через промышленную линию (вариант 1) составил 28-29%, при двукратном пропуске (вариант 2) – 23-22%, то есть двукратная переработка по отношению к первому пропуску снижает указанный показатель на 5-7% в абсолютном выражении (таблица).

Двукратный пропуск сырья через линию также снижает массовую долю костры на 3-4% (абс.) и раз-

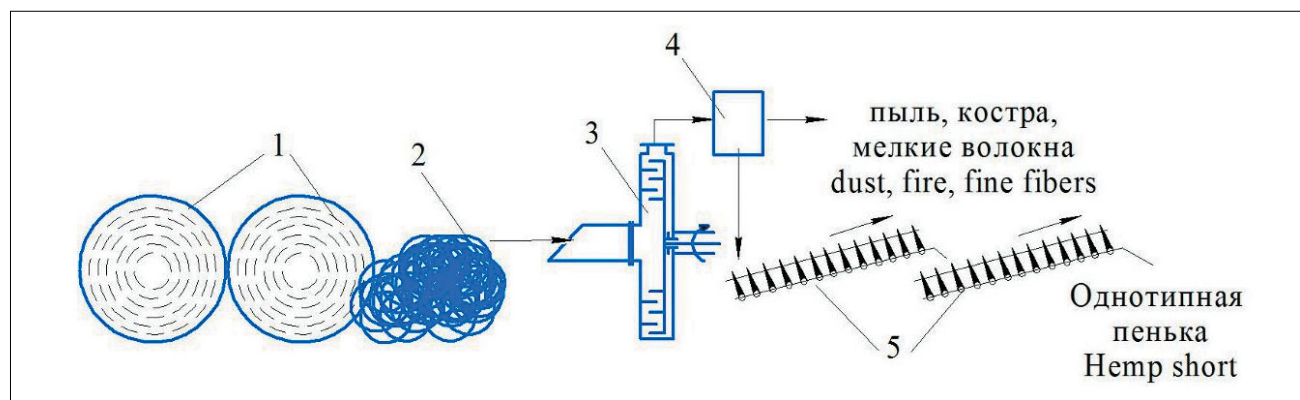


Рис. 2. Технологическая схема промышленной малозатратной и малогабаритной линии для переработки технической конопли в однотипную пеньку: 1 – рулоны технической конопли; 2 – порция конопли, отделенная от рулона; 3 – дезинтегратор; 4 – разгрузитель волокна; 5 – трясильные машины

Fig. 2. The technological scheme of industrial low-cost and small-sized lines for processing industrial hemp into the hemp short: 1 – rolls of industrial hemp; 2 – a portion of hemp, separated from the roll; 3 – disintegrator; 4 – fiber unloader; 5 – shaking machines

Таблица		Table				
ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНОПЛИ ВЕСЕННЕЙ УБОРКИ И ОДНОТИПНОЙ ПЕНЬКИ ПРИ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ ДВУХ РУЛОНОВ CHARACTERISTICS OF INDUSTRIAL HEMP SPRING HARVESTING AND THE HEMP SHORT IN THE PRIMARY PROCESSING OF TWO ROLLS						
Характеристики Characteristics	Коноплесырье Hemp raw		Однотипная пенька / The hemp short			
	рулон 1 roll 1	рулон 2 roll 2	рулон 1 / roll 1		рулон 2 / roll 2	
			пропуск 1 pass 1	пропуск 2 pass 1	пропуск 1 pass 1	пропуск 2 pass 1
Средняя длина поломанных стеблей, мм: Average length of broken stems, mm:	217,0	155,0	—	—	—	—
минимальная/minimum	58,0	36,0	—	—	—	—
максимальная/maximum	440,0	470,0	—	—	—	—
Средний диаметр стеблей, мм: Stems average diameter, mm	4,8	5,6	—	—	—	—
минимальный/minimum	2,1	2,1	—	—	—	—
максимальный/maximum	6,9	8,6	—	—	—	—
Содержание волокна в исходной массе, % Fiber content in the initial mass, %	30,0	26,0	—	—	—	—
Отделяемость, ед. Separability, units.	8,2	8,6	—	—	—	—
Разрывная нагрузка волокна в стеблях, кгс: Breaking load of fiber in stems, kgf:	16,9	13,5	—	—	—	—
минимальная/minimum	6,0	10,5	—	—	—	—
максимальная/maximum	28,5	14,3	—	—	—	—
Разрывная нагрузка волокна, кгс: Fiber breaking load, kgf:	—	—	10,5	9,8	12,4	10,6
минимальная/minimum	—	—	5,0	5,0	3,0	2,5
максимальная/maximum	—	—	16,0	15,5	30,0	30,0
Средняя массодлина волокна в тресте, мм The average mass length of the fiber in the hemp straw, mm	307,1	297,0	236,8	187,9	196,6	161,9
Средневзвешенная линейная плотность волокна в тресте, текс Weighted average linear fiber density in a hemp straw, tex	32,3	33,2	28,0	19,7	29,1	19,2
Содержание лапы, % The paw content, %	—	—	0	0	0	0
Массовая доля костры в тресте, % Mass fraction of shives in the trust, %	70,0	74,0	—	—	—	—
Массовая доля костры в волокне, %: Mass fraction of shives in the fiber, %:						
средняя/average	—	—	5,3	1,3	7,1	3,7
минимум/minimum	—	—	3,8	1,3	6,2	3,4
максимум/maximum	—	—	6,8	1,3	8,0	4,0
Сорт по ГОСТ 9993-2014 «Пенька короткая» с изм. №1 и 2 Grade according to GOST 9993-2014 “Hemp short” with rev. №1 and 2	—	—	—	—	—	—
Выход пеньки, % The output of hemp,%	—	—	28,0	23,0	29,0	22,0
Примечание. При втором пропуске через линию использовали массу пеньки 10 кг. Note. The second pass through the line used a hemp mass of 10 kg.						

рывную нагрузку, но не более чем на 2 кгс (таблица). Пороки волокна, учитываемые при определении сортности, имеют низкие значения: массовую долю костры не более 7,1% после первого пропуска, не более 4,0% – после второго, содержание лапы 0%. Как видим, несмотря на относительно низкую прочность, получена однотипная пенька достаточно хорошего качества (рис. 3). Однако однотипная пенька, полученная из двух рулонов и двум вариантам, не соответствует даже самому низкому значению разрывной нагрузки волокна (таблица).

Анализируя содержание волокон, отметим, что по-

сле переработки характер распределения волокон в массе по классам длин волокна изменяется (рис. 4).

Если до переработки в обоих рулонах тресты основную массу составляли волокна длиной 300-400 мм – больше 60% (остальные волокна в отдельности не превышали 5%), то после первого пропуска они составляют уже не более 20%, а после второго еще меньше (рис. 4). Чем больше механических воздействий на волокно, тем лучше выравнивается штапельный состав. Однотипную пеньку составляют волокна всех длин от 1 до 400 мм примерно в равных долях, не превышающих 10%.



Рис. 3. Вид однотипной пеньки после переработки:

a – первый пропуск; *b* – второй пропуск

Fig. 3. Type of hemp short after processing:

a – first pass; *b* – second pass

Линейная плотность волокна при переработке снижается по отношению к первоначальному значению: при первом пропуске – не более чем на 5 текс, при втором – на 12-14 текс, в итоге у готового волокна первого пропуска она составляет 28-29 текс, второго пропуска – 19 текс.

Полученная однотипная пенька может быть использована при производстве различных изделий: межвенцовых и объемных утеплителей, штапелированной пеньки, пряжи, различной целлюлозы, композитов и др.

Двухфакторный дисперсионный анализ характеристик волокна показал, что при доверительной вероятности 0,95 второй пропуск волокна через линию оказывает существенное влияние (%) на показатели качества однотипной пеньки:

- выход волокна – 97,3;
- разрывную нагрузку скрученной ленточки – 42,4;
- массовую долю костры – 75,3;
- среднюю массодлину – 61,2;

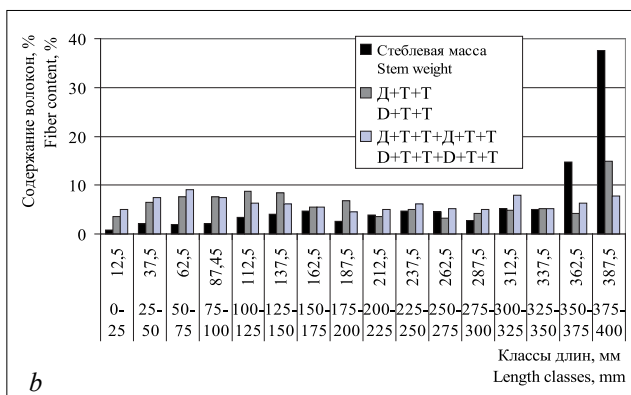
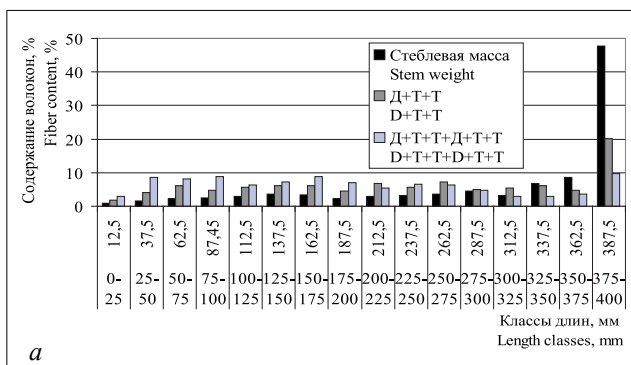


Рис. 4. Содержание волокон по классам длин: *a* – рулон 1; *b* – рулон 2; Д – дезинтегратор; Т – трясильная машина с нижним гребенным полем

Fig. 4. Fiber content by length classes: *a* – roll 1; *b* – roll 2;

D – disintegrator; *T* – shaking machine with lower combed field

- средневзвешенную линейную плотность – 99,1.

Чтобы производить однотипную пеньку высокого качества при достаточной для рентабельности производительности и сохранении доступной цены, мы

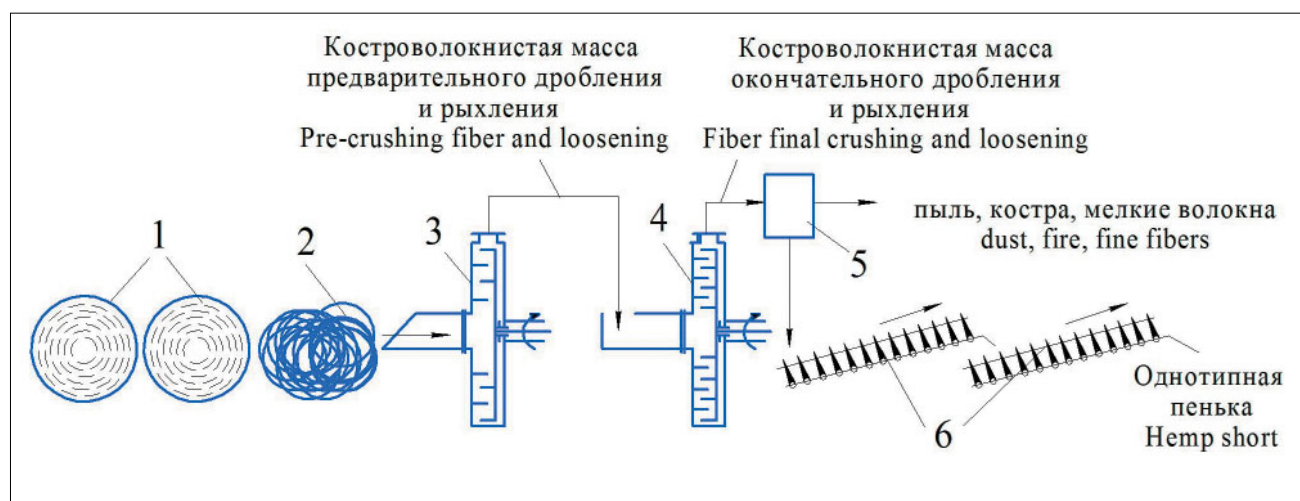


Рис. 5. Рекомендуемая технологическая схема линии переработки технической конопли в однотипную пеньку:

1 – рулоны технической конопли; 2 – порции конопли, отделенные от рулона; 3 – первый дезинтегратор; 4 – второй дезинтегратор; 5 – разгрузитель волокна; 6 – трясильные машины

Fig. 5. Recommended technological scheme of the line for processing industrial hemp into the hemp short:

1 – industrial hemp rolls; 2 – portions of hemp, separated from the roll; 3 – the first disintegrator; 4 – second disintegrator; 5 – fiber unloader; 6 – shaking machines

рекомендуем линию для переработки технической конопли (рис. 5).

В процессе переработки выявлено, что первый пропуск конопли через первый дезинтегратор ДЛВ-2 сопровождался периодическими забивками сырьем рабочих органов, что существенно снижало производительность линии. При втором пропуске через линию забивок оборудования волокном не наблюдалось, разгрузитель волокна и обе тряпильные машины работали равномерно. Это означает, что для переработки технической конопли в целом подходит предлагаемая льняная линия при данном режиме обработки, но необходимо совершенствовать первый дезинтегратор под коноплесырье. Например, можно увеличить размеры рабочих органов, а также обеспечить механизированное питание рекомендуемой линии, вместо ручного, путем установки адаптированного питателя.

Выводы

1. Определили характеристики нового для России коноплесырья: стебли технической конопли неполной длины, убранной зерноуборочным или специализированным комбайном, пролежавшие в поле с осени до весны, это легкообрабатываемое сырье.

2. Обосновали схему малогабаритной и малозатратной отечественной линии для первичной переработки технической конопли в виде спутанной массы с хаотично расположенными стеблями неполной длины, убранной зерноуборочным или специализированным комбайном в однотипную пеньку. Определены пути совершенствования отдельного оборудования.

3. Выявили значения показателей качества однотипной пеньки и ее выход при различных условиях первичной переработки, которые необходимы для планирования дальнейшей глубокой переработки волокна и разработки предприятия по производству однотипной пеньки на исследуемой линии (при расчете производственной мощности, систем пневмотранспорта, в ходе технико-экономического обоснования).

4. Определили влияние второго пропуска через отечественную линию на выход волокна, его разрывную нагрузку, массовую долю костры, среднюю массодлину и средневзвешенную линейную плотность волокна.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Linger P., Müssig J., Fischer H., Kobert J. Industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) growing on heavy metal contaminated soil: fibre quality and phytoremediation potential. *Industrial Crops and Products*. 2002. Vol. 16(1). 33-42.
2. Ляліна Н.П. Світовий та вітчизняний досвід використання конопель для виготовлення товарів широкого вжитку // *Вестник ХНТУ*. 2014. N2(49). 86-90.
3. Das L., Liu E.S., Saeed A., Williams D.W., Hu H.Q., Li C.L., Ray A.E., Shi J. Industrial hemp as a potential bioenergy crop in comparison with kenaf, switchgrass and biomass sorghum. *Bioresource technology*. 2017. Vol. 244. 641-649.
4. Понажев В.П., Рожмина Т.А., Павлова Л.Н. Высокопродуктивные сорта конопли и их особенности // *Лен и конопля: сорта, технологии, экономика: научные разработки ВНИИЛ*. Тверь: Твер. гос. ун-т. 2015. С. 54-55.
5. Морыганов А.П. Отечественное целлюлозное волокно – перспективное сырье для российской текстильной промышленности // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2018. N4(376). С. 44-49.
6. Королева Е.Н., Новиков Э.В., Безбабченко А.В., Шевалдин Д.М. Исследование линий для переработки технической конопли в однотипную и штапельированную пеньку // *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур*. 2018. N3(175). С. 85-91.
7. Рожмина Т.А., В.П. Понажев, Павлова Л.Н., Тихомирова В.Я. Рекомендации по оптимизации размещения среднерусской и южной конопли на территории Российской Федерации // *Лен и конопля: сорта, технологии, экономика:*

- научные разработки ВНИИЛ*. Тверь: Изд-во Твер. гос. ун-т. 2015. С. 55-56.
8. Павловский Е.П., Внуков В.Г. Дезинтегратор для отделения костры от отходов трепания // *Льняное дело*. 1998. N3. С. 38-40.
9. Носов А.Г., Вихарев С.М., Дроздов В.Г. Влияние влажности на вероятностные параметры распределения штапельной длины отходов трепания при обработке в дезинтеграторе // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2013. N3. С. 40-42.
10. Пашин Е.Л., Жукова С.В. Оценка технологической эффективности линии для получения однотипной пеньки // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2012. N3(339). С. 28-30.
11. Жукова С.В. Получение лубоволокнистого сырья из стеблей конопли семенных посевов // *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*. 2009. N6(321). С. 25-27.

REFERENCES

1. Linger P., Müssig J., Fischer H., Kobert J. Industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) growing on heavy metal contaminated soil: fibre quality and phytoremediation potential. *Industrial Crops and Products*. 2002. Vol. 16(1), 33-42 (In English).
2. Lyalina N.P. Cvitoviy ta vitchiznyaniy dosvid vikoristannya konopel dlya vivotovlennya tovariv shirokogo vzhitku [World and domestic experience of using cannabis for the manufacture of consumer goods]. *Vestnik KhNTU*. 2014. N2(49). 86-90 (In Ukrainian).
3. Das L., Liu E.S., Saeed A., Williams D.W., Hu H.Q., Li C.L., Ray A.E., Shi J. Industrial hemp as a potential bioenergy crop in comparison with kenaf, switchgrass and biomass sorghum. *Bioresource technology*. Vol. 244. 641-649 (In English).
4. Ponazhev V.P., Rozhmina T.A., Pavlova L.N. Vysokoproduktivnyye sorta konopli i ikh osobennosti [Highly productive hemp varieties and their features]. *Len i konoplya: sorta, tekhnologii, ekonomika: nauchnye razrabotki VNII*. Tver: Izd-vo Tver. gos. un-t. 2015. 54-55 (In Russian).
5. Moryganov A.P. Otechestvennoye tsellyuloznoye volokno – perspektivnoye syrye dlya rossiyskoy tekstilnoy promyshlennosti [Domestic cellulose fiber is a promising raw material for the Russian textile industry]. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti*. 2018, N4(376). 44-49 (In Russian).
6. Koroleva E.N., Novikov E.V., Bezbabchenko A.V., Shevaldin D.M. Issledovaniye liniy dlya pererabotki tekhnicheskoy konopli v odnotipnyuyu i shtapelirovannuyu penku [The lines research for processing industrial hemp in the short and stapled hemp]. *Maslichnyye kultury. Nauchno-tekhnicheskyy byulleten Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kultur*. 2018. N3(175). 85-91 (In Russian).
7. Rozhmina T.A., V.P. Ponazhev, Pavlova L.N., Tikhomirova V.Ya. Rekomendatsii po optimizatsii razmeshcheniya srednerusskoy i yuzhnoy konopli na territorii Rossiyskoy Federatsii [Recommendations on optimizing the distribution of Central Russian and southern hemp in the Russian Federation]. *Len i konoplya: sorta, tekhnologii, ekonomika: nauchnye razrabotki VNII*. Tver: Izd-vo Tver. gos. un-t. 2015. 55-56 (In Russian).
8. Pavlovskiy E.P., Vnukov V.G. Dezintegrator dlya otdeleniya kostry ot otkhodov trepaniya [Disintegrator for separating shives from scuffing waste]. *Lnyanoe delo*, 1998. N3. 38-40 (In Russian).
9. Nosov A.G., Vikharev S.M., Drozdov V.G. Vliyaniye vlazhnosti na veroyatnostnyye parametry raspredeleniya shtapelnoy dliny otkhodov trepaniya pri obrabotke v dezintegratore [The effect of humidity on the probabilistic parameters of the distribution of the staple length of scuffing waste during processing in a disintegrator]. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti*. 2013. N3. 40-42 (In Russian).
10. Pashin E.L., Zhukova S.V. Otsenka tekhnologicheskoy effektivnosti linii dlya polucheniya odnotipnoy penki [Evaluation of the technological efficiency of the line for obtaining the hemp short]. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti*. 2012. N3(339). 28-30 (In Russian).
11. Zhukova S.V. Poluchenie lubovoloknistogo syr'ya iz stebley konopli semennykh posevov [Obtaining bast-fiber raw materials from hemp stems of seed crops]. *Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstilnoy promyshlennosti*. 2009. N6(321). 25-27 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 11.05.2020
The paper was submitted
to the Editorial Office on 11.05.2020

Статья принята к публикации 03.06.2020
The paper was accepted
for publication on 03.06.2020

Результаты экспериментальных исследований сеялки для рядового посева СЗД-4,0

Сергей Иванович Камбулов¹,
доктор технических наук, доцент,
главный научный сотрудник;
Галина Геннадьевна Пархоменко¹,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник;

Игорь Владимирович Божко¹,
кандидат технических наук,
младший научный сотрудник,
e-mail: i.v.bozhko@mail.ru;
Андрей Александрович Бойко²,
старший преподаватель

¹Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Российская Федерация;

²Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Реферат. Посевные агрегаты считаются наиболее сложными сельскохозяйственными машинами, так как они выполняют много операций – как последовательно, так и одновременно. При этом сельхозтоваропроизводители заинтересованы в безупречной работе агрегатов. Для качественного выполнения технологических операций и улучшения энергетических показателей сеялок важно хорошо знать и совершенствовать их конструкцию. (*Цель исследования*) Определить основные агротехнические и энергетические показатели сеялки для рядового посева СЗД-4,0. (*Материалы и методы*) Экспериментальные исследования сеялки СЗД-4,0 провели на посеве озимой пшеницы при влажности почвы 8,4-29,7 процента в слое 5-10 сантиметров, твердость почвы – 0,8-2,0 мегапаскаля, глубина взрыхленного слоя по фракциям 0-10 сантиметров составила 48,0-53,2 процента. Энергетическую оценку осуществляли на трех скоростных режимах в агрегате с трактором МТЗ-80, оборудованным динамометром и измерительной регистрирующей системой. (*Результаты и обсуждение*) Выявили основные агротехнические показатели сеялки: среднюю глубину заделки семян при максимальном, минимальном и оптимальном заглублении сошников, количественную долю семян, заделанных на заданную глубину, высоту гребней после прохода агрегата, число всходов и относительную полевую всхожесть. Изучили основные энергетические показатели: тяговое сопротивление сеялки, потребляемую мощность агрегата, мощность, затраченную на преодоление тягового сопротивления машины, удельные энергозатраты агрегата, удельный расход топлива за время основной работы, удельное тяговое сопротивление. (*Выводы*) Подтвердили, что при скорости движения агрегата 9,5-13,5 километра в час рабочие органы сеялки обеспечили необходимую глубину заделки семян, фактическая норма высева и количественная доля семян заделанных в слое, соответствуют агротребованиям. Определили оптимальный режим работы: со скоростью 12,04 километра в час, при глубине хода сошников 54,6 миллиметра и при загрузке двигателя энергосредства на 76 процентов. **Ключевые слова:** агротехнические и энергетические показатели, экспериментальные исследования, сеялка зернотуковая дисковая, рядовой посев.

■ **Для цитирования:** Камбулов С.И., Пархоменко Г.Г., Божко И.В., Бойко А.А. Результаты экспериментальных исследований сеялки для рядового посева СЗД-4,0 // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №2. С. 41-45. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-41-45.

Results of Experimental Studies of the Seed Drill for Row Sowing SZD-4.0

Sergey I. Kambulov¹,
Dr.Sc.(Eng.), associate professor, chief researcher;
Galina G. Parkhomenko¹,
Ph.D.(Eng.), leading researcher;

Igor V. Bozhko¹,
Ph.D.(Eng.), junior researcher,
e-mail: i.v.bozhko@mail.ru;
Andrey A. Boyko²,
senior lecturer

¹Agricultural Research Center «Donskoy», Zernograd, Russian Federation;

²Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract. Sowing units are considered to be the most complex agricultural machines, as they perform many operations - both sequentially and simultaneously. At the same time, agricultural producers are interested in the high-quality operation of the units. For the high-quality execution of technological operations and the improvement of energy indicators, seeders it is important to know and improve their design. (*Research purpose*) To determine the main agrotechnical and energy indicators of the seed drill for

row sowing of SZD-4.0. (*Materials and methods*) Experimental studies of the SZD-4.0 seed drill were carried out on winter wheat sowing at a soil moisture content of 8.4-29.7 percent in a layer of 5-10 centimeters, a soil hardness of 0.8-2.0 megapascals, the depth of a loosened layer fractions of 0-10 centimeters amounted to 48.0-53.2 percent. Energy assessment was carried out at three speed modes in an aggregate with an MTZ-80 tractor equipped with a dynamometer and a measuring recording system. (*Results and discussion*) The main agrotechnical indicators of the seeder were revealed: the average depth of seed placement at the maximum, minimum and optimal depth of the coulters, the quantitative proportion of seeds planted at a specified depth, the height of the ridges after the passage of the unit, the number of seedlings and relative field germination. The authors studied the main energy indicators: the traction resistance of the seeder, the power consumption of the unit, the power spent on overcoming the traction resistance of the machine, the specific energy consumption of the unit, the specific fuel consumption during the main operation, the specific traction resistance. (*Conclusions*) It was confirmed that when the speed of the unit was 9.5-13.5 kilometers per hour, the working bodies of the seeder provided the depth of seed placement, the actual seeding rate, and the quantitative proportion of seeds planted in the layer corresponding to agricultural requirements. They determined the optimal mode of operation: at a speed of 12.04 kilometers per hour, with a coulter depth of 54.6 millimeters and when loading the engine of an energy facility by 76 percent.

Keywords: agrotechnical and energy indicators, experimental studies, grain-fertilizer disk seeder, row sowing.

■ **For citation:** Kambulov S.I., Parkhomenko G.G., Bozhko I.V., Boyko A.A. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy seyalki dlya ryadovogo poseva SZD-4,0 [Results of experimental studies of the seed drill for row sowing SZD-4.0]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N2. 41-45 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-41-45.

Технологии возделывания сельхозкультур предусматривают меры, связанные с улучшением плодородия почвы и повышением урожайности, например путем применения органических и минеральных удобрений [1]. Поэтому при разработке конструкции сеялок учитывают возможность внесения удобрений, а также мульчирования поверхности почвы пожнивными остатками [2].

Посевные агрегаты считаются наиболее сложными сельскохозяйственными машинами. Они выполняют много операций – как последовательно, так и одновременно:

- отбор семян высевающим аппаратом из бункера;
- формирование семенного потока на выходе из высевающего аппарата;
- транспортирование семян по семяпроводу к сошнику;
- формирование посевной борозды;
- укладка и распределение семян по борозде;
- заделка семян специальными рабочими органами, сошниками (дискового или долотообразного типа);
- выравнивание и мульчирование поверхности поля.

Каждая операция влияет на качество выполнения технологического процесса в целом. Высокая урожайность достигается при оптимальном сочетании числа растений на единице площади и продуктивности одного растения, то есть все сводится к оптимизации величины и конфигурации площади питания. Таким образом, равномерность высева семян – один из основных показателей качества работы посевных агрегатов. Увеличение урожайности обусловлено тем, насколько эффективно корневая система культур способна использовать питательные вещества, расположенные в различных горизонтах почвы [3]. В связи с

этим необходимо вносить удобрения ниже уровня заделки семян.

Качественный посев характеризуется двумя составляющими: равномерным распределением посевного материала по площади питания и глубине заделки; внесением минеральных удобрений ниже уровня семян основной культуры [4]. В целях повышения эффективности аграрии отдают предпочтение универсальным сеялкам, совмещающим посев с внесением удобрений [5, 6].

Недостаточное количество сельхозтехники сдерживает развитие механизированных технологий [7]. А имеющиеся посевные машины не всегда удовлетворяют требованиям равномерности высева семян между сошниками сеялки и постоянства глубины заделки семян. Для качественного выполнения технологических операций и улучшения энергетических показателей сеялок важно хорошо знать и совершенствовать их конструкцию [8].

Энергосбережение зависит как от показателей работанной машины, так и от правильно подобранного трактора [9].

Анализ исследований, направленных на создание рабочих органов для рядового посева зерновых культур, выявил необходимость предварительного изучения профиля поверхности поля и свойств обрабатываемой среды [10].

Физико-механические параметры почвы из всех свойств обрабатываемой среды оказывают наибольшее влияние на энергетические показатели машин. Так, при определенном диапазоне влажности почвы в пределах, допускаемых агротехническими требованиями, наблюдается существенное снижение тягового сопротивления рабочих органов, а значит и энергозатрат на выполнение технологического процесса [11].

Учитывая свойства обрабатываемой среды, при раз-

работке конструкции сеялки не следует пренебрегать тем, что посевной материал также обладает вариабельностью. Известны методики определения и учета факторов, влияющих на процесс высевы при использовании семян различных культур с разными физико-механическими свойствами, а также семян с удобрениями. что необходимо для оценки качества выполнения технологического процесса [12, 13]. Для создания универсальной системы контроля высевы семян различных культур применяют унифицированные датчики [14-15].

Цель исследования – определить основные агротехнические и энергетические показатели сеялки для рядового посева СЗД-4,0.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Сеялка зернотуковая дисковая СЗД-4,0 разработана в Аграрном научном центре «Донской», в структурном подразделении СКНИИМЭСХ (рисунок). Она предназначена для рядового посева семян зерновых и зернобобовых культур с одновременным внесением удобрений и прикатыванием почвы в засеянных рядах. Машина агрегируется с тракторами класса тяги 1,4 – в односеялочном агрегате и класса 3-5 – в широкозахватных многосеялочных агрегатах с гидрофицированными сцепками.

Экспериментальные исследования сеялки СЗД-4,0 в агрегате с трактором МТЗ-80 провели на посеве озимой пшеницы при влажности почвы 8,4-29,7% в слое 5-10 см, твердости почвы 0,8-2,0 МПа. Глубина взрыхленного слоя по фракциям 0-10 см составила 48-53,2%.

Энергетическую оценку осуществляли на трех скоростных режимах в агрегате с трактором МТЗ-80, оборудованным динамометром и измерительной ре-



Рис. Сеялка зернотуковая дисковая СЗД-4,0

Fig. Grain fertilizer disk seeder SZD-4.0

гистрирующей системой.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Анализ агротехнических показателей сеялки для рядового посева СЗД-4,0 позволил установить, что при скорости движения 9,5-13,5 км/ч машина обеспечила высевы семян в пределах 195,1-198,8 кг/га при норме в 200 кг/га (табл. 1). Средняя глубина заделки семян при максимальном заглублении сошников составила 73,1-77,0 мм, а при минимальном – 39,9-42,4 мм.

Доля семян, заделанных на заданную глубину, равна 80,1-83,3%. При этом семян, не заделанных в почву, не обнаружено. Высота гребней после прохода агрегата – 2,3-2,8 см. Относительная полевая всхожесть семян – 77,0-81,2%. Кроме того, изучили основные энергетические показатели (табл. 2).

Тяговое усилие, затраченное на преодоление сопротивления сеялки, составило 6330-7590 Н при глубине хода однодисковых сошников 53,6-55,0 мм и ско-

Таблица 1

Table 1

ОСНОВНЫЕ АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СЕЯЛКИ ДЛЯ РЯДОВОГО ПОСЕВА СЗД-4,0
THE MAIN AGROTECHNICAL INDICATORS OF THE SEEDER FOR ROW SOWING SZD-4.0

Показатели / Indicators	Значение / Value		
Скорость движения агрегата, км/ч The speed of the machine, km/h	9,5	12,04	13,5
Норма высевы семян, кг/га / Seeding rate, kg/ha: заданная / given фактическая / actual	200,0 198,8	200,0 197,0	200,0 195,1
Средняя глубина заделки семян при максимальном заглублении сошников, мм Average depth of seeding at maximum depth of coulters, mm	77,0	75,3	73,1
Средняя глубина заделки семян при минимальном заглублении сошников, мм Average depth of seeding with minimum depth of coulters, mm	42,4	41,0	39,9
Глубина заделки семян при оптимальном заглублении сошников, мм: Depth of seeding at optimal depth of coulters, mm: установочная глубина/ installation depth, mm средняя глубина, мм / average depth, mm стандартное отклонение, ±мм / standard deviation, ±mm коэффициент вариации, % /coefficient of variation, %	60,0 55,0 7,5 13,6	60,0 54,6 7,6 13,8	60,0 53,6 7,8 14,6
Доля семян, заделанных на заданную глубину, % The quantitative proportion of seeds planted at a specified depth, %	80,1	82,9	83,3
Высота гребней после прохода агрегата, см The height of the ridges after the passage of the unit, cm	2,8	2,5	2,3
Число всходов, шт./м ² The number of seedlings, pcs./m ²	359,1	340,8	334,3
Относительная полевая всхожесть, % Relative field germination, %	81,2	77,7	77,0

Таблица 2

Table 2

ОСНОВНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СЕЯЛКИ ДЛЯ РЯДОВОГО ПОСЕВА СЗД-4,0
THE MAIN ENERGY INDICATORS OF THE SEEDER FOR ROW SOWING SZD-4.0

Показатели / Indicators	Значение / Value		
Скорость движения агрегата, км/ч The speed of the machine, km/h	9,5	12,04	13,5
Глубина хода сошников, мм Depth of coulter, mm	55,0	54,6	53,6
Производительность за время основной работы, га/ч Productivity during the main work, ha/h	4,18	4,82	5,40
Расход топлива за время основной работы, кг/ч Fuel consumption during the main work, kg/h	9,4	11,1	12,55
Энергетические показатели / Energy performance:			
тяговое сопротивление сеялки, Н / seeder traction resistance, N	6333,0	7020,0	7590,0
мощность, затраченная на преодоление тягового сопротивления машины, кВт power spent to overcome the traction resistance of the machine, kW	18,37	23,48	28,48
потребляемая мощность агрегата, кВт / power consumption of the unit, kW	35,00	42,50	50,50
удельные энергозатраты агрегата / unit specific energy consumption:			
кВт·ч/га / kW·h/ha	8,37	8,82	9,35
МДж/га / MJ/ha	30,14	31,74	33,67
удельный расход топлива за время основной работы, кг/га specific fuel consumption during the main work, kg/ha	2,25	2,30	2,32
удельное тяговое сопротивление, Н/м / specific traction resistance, N/m	158,00	175,00	190,00
Коэффициент использования эксплуатационной мощности двигателя трактора / Tractor engine operating power utilization factor	0,60	0,76	0,91
Буксование движителей энергосредства, % / Power unit propulsions slipping, %	6,10	9,20	12,36

рости движения 9,5-13,5 км/ч. Мощность, затраченная машиной на выполнение технологического процесса, увеличилась с 18,37 до 28,48 кВт, что соответствует 35-51% от эксплуатационной мощности двигателя трактора. При данных режимах работы общая мощность, потребляемая агрегатом МТЗ-80 + СЗД-4,0, изменялась от 35 до 50,5 кВт, мощность двигателя трактора использовалась на 60-91% при изменении буксования движителей мобильного энергосредства от 6,1 до 12,36%.

Удельные показатели с увеличением скорости движения возрастали: энергозатраты – с 8,37 до 9,35 кВт·ч/га, расход топлива за время основной работы – с 2,25 до 2,32 кг/ч, тяговое сопротивление агрегата – с 158 до 190 Н/м. По результатам энергетической оценки оп-

тимальный режим работы достигается при скорости 12,04 км/ч, глубине хода сошников 54,6 мм и загрузке двигателя мобильного энергосредства на 76%.

Выводы. При скорости движения агрегата 9,5-13,5 км/ч рабочие органы сеялки обеспечили глубину заделки семян 73,1-77,0 мм, фактическую норму высева 195,1-198,8 кг/га, количественную долю семян, заделанных в слое, 80,1-83,3%, что соответствует агротехническим требованиям. Результаты энергетической оценки свидетельствуют о том, что сеялка зернотуковая дисковая для рядового посева СЗД-4,0 в агрегате с трактором МТЗ-80 обеспечивает надежное выполнение технологического процесса на посеве озимой пшеницы в диапазоне скоростных режимов 9-15 км/ч с загрузкой двигателя энергосредства на 76%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Yang X., Chen X., Yang X. Phosphorus release kinetics and solubility capacity of phosphorus fractionation induced by organic acids from a black soil in Northeast China. *Canadian Journal of Soil Science*. 2019. Vol. 99. N1. 92-99.
2. Демчук Е.В., Сабиев У.К., Мяло В.В., Чупин П.В., Коваль В.С. Результаты лабораторных исследований сошника для разноуровневого высева семян и внесения удобрений // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2019. N3. С. 12-18.
3. Pryshliak V. Investigation of machines for soil processing and sowing bioenergetic crops under conditions of changeable relief. *Mechanization in Agriculture & Conserving of the Resources*. 2017. Iss. 2. 82-86.
4. Aduov M.A., Kapov S.N., Nukusheva S.A., Kaspakov E.Zh., Volodya K., Seifullin S. The results of the laboratory and field tests of seeders with combined ploughshares. *Mechanization in Agriculture & Conserving of the Resources*. 2017. Iss. 2. 60-63.
5. Aduov M.A., Nukusheva S.A., Kaspakov E.Z., Isenov K.G., Volodya K., Tulegenov T.K. Development of pneumatic seeder for sowing grain crops. *Mechanization in Agriculture & Conserving of the Resources*. 2019. Iss. 1. 25-26.
6. Mitev G.V., Bratov K. Experimental study of strip till machine. *Mechanization in Agriculture & Conserving of the Resources*. 2017. Iss. 1. 21-25.
7. Коротченко В.М., Личман Г.И., Смирнов И.Г. Цифровизация технологических процессов в растениеводстве России // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. T. 13. N1. С. 14-20.
8. Melnic I., Scler P. Theoretical research of tractive resistance of rotary type seeders. *Mechanization in Agriculture & Conserving of the Resources*. 2019. Iss. 3. 85-87.

9. Ranjbarian S., Askari M., Jannatkah J. Performance of tractor and tillage implements in clay soil. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 2017. 16. 154-162.

10. Xudoyberdiyev T.S., Igamberdiyev A.K., Muradov R.X. Substantiation of parameters of knife spade of the seeder. *European Science Review*. 2017. Iss. 1-2. 242-244.

11. Jebur H.A., Alsayyah Y.A.A. The effect of soil moisture content on the energy requirement and fuel consumption of the machinery unit. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*. 2016. 5(10). 261-266.

12. Зубрилина Е.М., Маркво И.А., Журавлев А.С., Новиков В.И., Нерода Е.В. Метод обобщенной оценки при выборе факторов и уровней их варьирования в многофакторном исследовании высевальных аппаратов // *Сельскохозяйственные*

машины и технологии. 2019. Т. 13. N4. С. 65-70.

13. Aduov M.D., Nukusheva S.A., Kaspakov E., Isenov K.G., Volodya K.M., Tulegenov T.K. Substantiation of constructive parameters of the seeding machine for sowing of non flowing grass seeds. *Mechanization in Agriculture & Conserving of the Resources*. 2019. Iss. 2. 50-52.

14. Завражнов А.И., Лобачевский Я.П., Пустоваров Н.Ю. Разработка и обоснование параметров емкостного датчика высева семян пропашных культур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. N2. С. 4-9.

15. Ахалая Б.Х., Ценч Ю.С., Квас С.А. Технология комбинированного способа посева и высевальные аппараты для его осуществления. Вестник ВИЭСХ. 2018. № 4 (33). С. 61-65

REFERENCES

1. Yang X., Chen X., Yang X. Phosphorus release kinetics and solubility capacity of phosphorus fractionation induced by organic acids from a black soil in Northeast China. *Canadian Journal of Soil Science*. 2019; Vol. 99, N1. 92-99 (In English).

2. Demchuk E.V., Sabiev U.K., Myalo V.V., Chupin P.V., Koval' V.S. Re-zul'taty laboratornykh issledovaniy soshnika dlya raznouravnogo vyseva semyan i vneseniya udobrenii [The results of laboratory tests of the coulter for multilevel sowing of seeds and fertilizing]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2019. 3. 12-18 (in Russian).

3. Pryshliak V. Investigation of machines for soil processing and sowing bioenergetic crops under conditions of changeable relief. *Mechanization in Agriculture*. 2017. YEAR LXIII. Iss. 2. 82-86 (In English).

4. Aduov M.A., Kapov S.N., Nukusheva S.A., Kaspakov E.Zh., Volodya K., Seifullin S. The results of the laboratory and field tests of seeders with combined ploughshares. *Mechanization in Agriculture*. 2017. YEAR LXIII. Iss. 2. 60-63 (In English).

5. Aduov M.A., Nukusheva S.A., Kaspakov E.Z., Isenov K.G., Volodya K., Tulegenov T.K. Development of pneumatic seeder for sowing grain crops. *Mechanization in Agriculture & Conserving of the Resources*. 2019. YEAR LXV. Iss. 1. 25-26 (In English).

6. Mitev G.V., Bratov K. Experimental study of strip till machine. *Mechanization in Agriculture*. 2017. YEAR LXIII. Iss. 1. 21-25 (In English).

7. Korotchenya V.M., Lichman G.I., Smirnov I.G. Tsifrovizatsiya tekhnologicheskikh protsessov v rastenievodstve Rossii [Digitalization of technological processes in crop production in Russia]. *Sel'skokhozyaistvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N1. 14-20 (in Russian).

8. Melnic I., Sclar P. Theoretical research of tractive resistance of rotary type seeders. *Mechanization in Agriculture & Conserving of the Resources*. 2019. Iss. 3. 85-87 (In English).

9. Ranjbarian S., Askari M., Jannatkah J. Performance of tractor and tillage implements in clay soil. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 2017. 16. 154-162 (In English).

10. Xudoyberdiyev T.S., Igamberdiyev A.K., Muradov R.X. Substantiation of parameters of knife spade of the seeder. *European Science Review*. 2017. Iss. 1-2. 242-244 (in English).

11. Jebur H.A., Alsayyah Y.A.A. The effect of soil moisture content on the energy requirement and fuel consumption of the machinery unit. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*. 2016. 5(10). 261-266 (In English).

12. Zubrilina E.M., Markvo I.A., Zhuravlev A.S., Novikov V.I., Neroda E.V. Metod obobshchennoi otsenki pri vybore faktorov i urovnei ikh var'irovaniya v mnogofaktornom issledovanii vysevalyushchikh apparatov [The method of generalized assessment when choosing factors and their variation levels in a multivariate study of sowing devices]. *Sel'skokhozyaistvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N4. 65-70 (In Russian).

13. Aduov M.D., Nukusheva S.A., Kaspakov E., Isenov K.G., Volodya K.M., Tulegenov T.K. Substantiation of constructive parameters of the seeding machine for sowing of non flowing grass seeds. *Mechanization in Agriculture & Conserving of the Resources*. 2019. Iss. 2. 50-52 (in English).

14. Zavrazhnov A.I., Lobachevskiy Ya.P., Pustovarov N.Yu. Razrabotka i obosnovanie parametrov emkostnogo datchika vyseva semyan propashnykh kul'tur [Development and justification of parameters of a capacitive sensor for sowing seeds of row crops]. *Sel'skokhozyaistvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N2. 4-9 (In Russian).

15. Akhalaya B.Kh., Tsench Yu.S., Kvas S.A. Tekhnologiya kombinirovannogo sposoba poseva i vysevalyushchie apparaty dlya ego osushchestvleniya [Technology of combined sowing method and sowing machines for its implementation]. *Vestnik VIESH*. 2018. 4(33). 61-65 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 03.02.2020
The paper was submitted
to the Editorial Office on 03.02.2020

Статья принята к публикации 29.05.2020
The paper was accepted
for publication on 29.05.2020

Применение комбинированного облучения в светокультуре

Сергей Анатольевич Ракутько¹,
доктор технических наук,
главный научный сотрудник,
e-mail: sergej1964@yandex.ru;

Елена Николаевна Ракутько¹,
научный сотрудник;
Марат Равильевич Аюпов²,
генеральный директор

¹Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал Федерального научного агроинженерного центра ВИМ, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация;

²НПО «Псковагроинновации», г. Псков, Российская Федерация

Реферат. Эффективное выращивание растений в светокультуре возможно только под оптическим излучением определенного спектрального состава. Наиболее дешевый способ генерирования оптического излучения – с помощью натриевых ламп высокого давления. Однако их спектральный состав не в полной мере приемлем для светокультуры. Светодиоды позволяют задавать практически любой спектр, но их стоимость достаточно высока. (*Цель исследования*) Теоретически и практически обосновать спектральный состав светодиодного излучателя-корректора, используемого в светокультуре дополнительно к натриевым лампам. (*Материалы и методы*) Экспериментально изучили эффективность комбинированного облучения в лаборатории энергоэкологии светокультуры Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства при облучении рассады томата сорта Благовест. Исследовали биометрические показатели растений. Производственный эксперимент проводили в тепличном комбинате Межвиди (Латвия) на взрослых растениях томата сорта *Encore* для трех вариантов: первый – под натриевыми лампами; второй – со светодиодными облучателями; третий – при комбинации натриевых ламп и корректора. Влияние облучателя на растения оценивали по величине флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков листовой пластинки. (*Результаты и обсуждение*) Определили, что применение корректора улучшило биометрические параметры рассады: увеличило число листьев, их сырую массу, содержание в них хлорофилла и сухого вещества. Отметили, что в теплице наименее благоприятная световая среда формируется под натриевыми лампами, а светодиодные облучатели создают более комфортные условия. Подтвердили, что применение корректора обеспечивает наилучшую световую среду. Выявили повышение урожайности плодов томата и их вкусовых качеств при использовании комбинированного облучения. (*Выводы*) Доказали, что для коррекции спектра лампы ДНат 400 необходим фотонный поток корректора 71,2 микромоля в секунду, при этом отношение потоков синих и дальнекрасных светодиодов должно составлять 64 и 36 процентов соответственно.

Ключевые слова: тепличное производство овощей, светокультура, освещение в теплицах, светодиодные облучатели, комбинированное облучение томатов, натриевая лампа, светодиод.

■ **Для цитирования:** Ракутько С.А., Ракутько Е.Н., Аюпов М.Р. Применение комбинированного облучения в светокультуре // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №2. С. 46-52. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-46-52

Use of Combined Irradiation in Grow Light

Sergei A. Rakutko¹,
Dr. Sc.(Eng.), chief researcher,
e-mail: sergej1964@yandex.ru;

Elena N. Rakutko¹,
researcher
Marat R. Ayupov²,
general director

¹Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production – a branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, St. Petersburg, Russian Federation;

²Scientific-production association «Pskovagroinnovatsii», Pskov, Russian Federation

Abstract. Effective cultivation of plants with grow light is possible only under optical radiation of a certain spectral composition. The cheapest way to generate optical radiation is with the help of high pressure sodium lamps. However, their spectral composition

is not fully acceptable for grow light. LEDs allow you to set almost any spectrum, but their cost is quite high. (*Research purpose*) To prove the spectral composition of the LED emitter-corrector used in grow light in addition to sodium lamps theoretically and practically. (*Materials and methods*) The authors experimentally studied the effectiveness of combined irradiation in the Laboratory of Energy Ecology of Grow Light at the Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production under the irradiation of Blagovest tomato seedlings. They investigated the biometric indicators of plants. The production experiment was carried out in the greenhouse plant Mezhdvidi (Latvia) on adult Encore tomato plants for three options: the first – under sodium lamps; the second – with LED irradiators; the third – with a combination of sodium lamps and corrector. The effect of the irradiator on the plants was evaluated by the magnitude of the fluctuating asymmetry of bilateral signs of the leaf blade. (*Results and discussion*) The authors found out that the use of the corrector improved the seedlings biometric parameters: increased the number of leaves, their wet weight, the content of chlorophyll and dry substance in them. It was noted that in the greenhouse the least favorable light environment was formed under sodium lamps, and LED irradiators created more comfortable conditions. They confirmed that the use of a corrector provided the best light environment. They revealed an increase in the yield of tomato fruits and their taste when using combined irradiation. (*Conclusions*) The authors proved that to correct the spectrum of HPS lamp 400, a corrector photon flux of 71.2 micromoles per second is required, while the ratio of blue and far-red LEDs fluxes should be 64 and 36 percent respectively.

Keywords: greenhouse production of vegetables, grow light, lighting in greenhouses, LED irradiators, combined irradiation of tomatoes, sodium lamp, LED.

■ For citation: Rakutko S.A., Rakutko E.N., Ayupov M.R. *Primenenie kombinirovannogo oblucheniya v svetokul'ture. [Use of combined irradiation in grow light]. Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii.* 2020. Vol. 14. N2. 46-52 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-46-52.

Большинство технологических процессов в сельском хозяйстве остаются энерго- и ресурсозатратными, что особенно справедливо для тепличного производства. Это связано с целым комплексом энергопотерь на всех этапах генерации, подвода и потребления энергии в культивационном сооружении. Сегодня энергоэффективное тепличное производство требует внедрения современных инновационных энергоэффективных и экологических технологий [1].

При выращивании растений в искусственных условиях (теплицах, сити-фермах и т.д.) естественная облученность отсутствует или недостаточна для полного раскрытия продукционного потенциала культур. Повышения эффективности тепличного производства можно добиться с помощью технологии выращивания растений с применением искусственных источников света (светокультуры). Фотосенсорный механизм растений обеспечивает восприятие энергии излучения в широком диапазоне длин волн. Однако основное воздействие оказывает поток излучения в области фотосинтетически активной радиации (ФАР). Действие излучения определяется его спектральным составом, который обычно задают долями энергии в спектральных диапазонах ФАР: синем k_B (400-500 нм), зеленом k_G (500-600 нм) и красном k_R (600-700 нм). Отдельно нормируют содержание дальнекрасного излучения k_{FR} (700-780 нм).

Влияние излучения в различных спектральных диапазонах на рост и развитие растений изучено достаточно хорошо. Известно, что синий свет подавляет удлинение гипокотили и способствует производству биомассы. Добавка синего излучения к потоку

натриевых ламп увеличивает общую биомассу, однако снижает выход плодов у огурцов и томатов [2]. Соотношение количества синего и красного излучения влияет на длину стебля сеянцев томата [3]. Красное излучение удлиняет гипокотиль и увеличивает площади листьев [4]. Исследования роста, фотосинтеза и продуктивности растений показали, что для выращивания светолюбивых растений наиболее благоприятно спектральное соотношение $k_B : k_G : k_R = 30\% : 20\% : 50\%$ [5]. Для анализа применимости спектра используют также соотношения $k_R : k_B$ и $k_R : k_{FR}$. Низкое соотношение $k_R : k_{FR}$ вызывает ряд реакций в растениях, известных как синдром избегания затенения, которые включают удлинение междоузлий, черешков и листьев, усиление апикального доминирования, сокращение разветвления и ускорение цветения. Напротив, высокое соотношение $k_R : k_{FR}$ способствует формированию компактной кроны растений.

Необходимость решения сложных вопросов комплексного повышения энергоэффективности и обеспечения экологичности в светокультуре требует особого внимания к совершенствованию технических средств облучения – облучательных установок.

Традиционно световой режим растений обеспечивают посредством газоразрядных натриевых ламп – одного из самых энергоэффективных источников света. Спектр излучения натриевой лампы в видимой области (совпадающей с областью ФАР) состоит из самообращенных и сильно уширенных D-линий натрия (589,0 и 589,6 нм). При этом в желто-оранжевой области спектра (560-610 нм) сосредоточено 70% видимого излучения. В натриевой лампе мощностью 1000 Вт около 27% потребляемой электроэнергии преобразу-

ется в ФАР, 14% из них приходится на длины волн 400-565 нм, а остальные – до 700 нм [6].

Отдача ФАР современных натриевых ламп составляет до 1,7 мкмоль/Дж при значительном сроке службы. Однако спектр этих ламп не в полной мере удовлетворяет требованиям растений [7]. При этом изменением конструктива установки или внешним управлением существенно изменить спектр излучения натриевых ламп невозможно, что объясняется физикой происходящих в них процессов.

В отличие от широкополосных газоразрядных источников, светодиодные облучатели обеспечивают практически любой спектр суммарного излучения при подборе типов входящих в него светодиодов (СД) и регулировке режима их питания [8]. Узкополосное СД-излучение позволяет гибко управлять ростом и развитием растения. Сегодня СД широко применяют не только в экспериментальных установках (фитотронах) для оценки и оптимизации конкретных систем искусственного облучения, но и в промышленных теплицах. Современные СД имеют отдачу около 2,7 мкмоль/Дж и более с тенденцией уменьшения их стоимости. Общим недостатком таких облучательных установок остаются большие стоимость, материалоемкость радиатора, вес облучателя. Поэтому интегральная экономическая эффективность внедрения светодиодов в теплицах невысока [9]. По некоторым оценкам, в ближайшем будущем СД-облучатели не смогут заменить натриевые лампы в промышленной тепличной светокультуре [10].

Рациональный подход заключается в использовании комбинированных облучательных установок, в которых основной поток излучения генерируется относительно дешевыми натриевыми лампами, а недостаток спектра получаемого излучения корректируется с помощью СД [11]. Однако известные комбинированные облучатели, содержащие в одном корпусе натриевую лампу и СД, имеют существенный недостаток: необходимость замены всех облучателей при реконструкции системы облучения, а также сложность обеспечения теплового режима СД при наличии близко расположенных натриевых ламп.

В результате патентного поиска мы выявили наиболее близкое современное техническое решение от ведущего мирового производителя тепличных источников излучения фирмы *Philips*: система включает источник дополнительного к естественному излучения (натриевую лампу) и отдельные СД-источники синего и дальне-красного излучения (*Крейн М., 2019, заявка 2017137737*). Однако анализ показал, что такое решение имеет и ряд недостатков, проистекающих прежде всего из-за раздельного выполнения источников, дополняющих поток натриевой лампы, что требует раздельных систем управления, удорожает систему и снижает эффективность светокультуры в целом.

Техническая задача созданной в результате исследования комбинированной системы облучения – повышение эффективности светокультуры и качества получаемой продукции в ходе обеспечения требуемого спектрального состава. Технические результаты – оптимизация спектра излучения и конструктивного исполнения дополнительных источников света, повышение равномерности светового поля в теплице, снижение материалоемкости системы облучения, повышение удобства ее эксплуатации.

Цель исследования – обоснование спектрального состава излучения светодиодного корректора, используемого дополнительно к натриевым лампам в светокультуре, и практическая проверка такого решения в лабораторных условиях и промышленной теплице.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. *Устройство и параметры корректора спектра.* В эксперименте использовали разработанный НПО «Псковагроинновации» корректор спектра (рис. 1). Источником излучения служит светодиодная матрица, выполненная по технологии COB (*chip on board*).

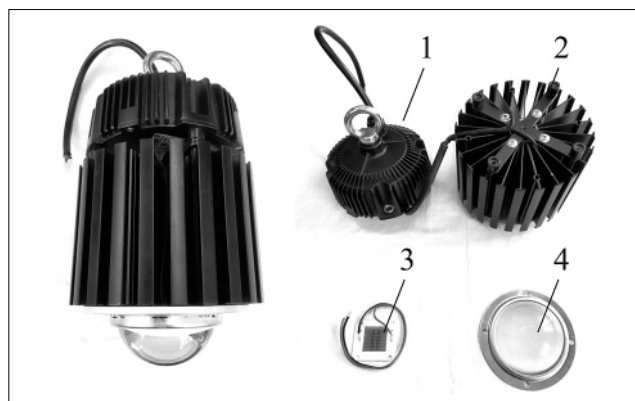


Рис. 1. Внешний вид и составные части корректора: 1 – драйвер; 2 – радиатор; 3 – светодиодная матрица; 4 – линза

Fig. 1. Exterior and components of the corrector: 1 – driver, 2 – radiator, 3 – LED matrix, 4 – lens

Корректор получает электрическое питание через драйвер типа *HBG-100-24*, который на проставках крепится к радиатору сверху. Светодиодная матрица состоит из излучающих в необходимых спектральных диапазонах кристаллов, взятых в определенной пропорции. Через теплопроводящую пасту она крепится к радиатору снизу. Матрица герметично закрыта линзой с углом рассеивания 90°.

С учетом спектрального состава и интенсивности излучения натриевой лампы мощностью 400 Вт рассчитали необходимый спектральный состав матрицы, который гарантирует исправление несоответствия спектра натриевой лампы под требования светокультуры.

Как уже упоминалось, поток натриевых ламп характеризуется малой долей энергии в синей области

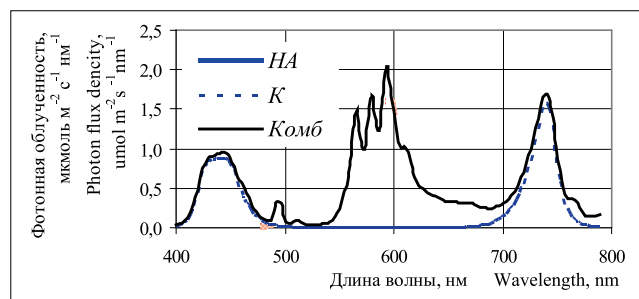


Рис. 2. Спектры излучения натриевой лампы (НА), корректора (К) и комбинированного потока (Комб)

Fig. 2. Emission spectrum of sodium lamp (НА), corrector (К) and combined flux (Комб)

спектра, очень большой – в зеленой и недостаточной – красной и дальнекрасной (кривая НА на рис. 2). Соотношение $k_R : k_B$, которое при оптимальном спектре должно приближаться к 1,7 отн. ед., составляет для ламп различной мощности в среднем 6,2 отн. ед. Соотношение $k_R : k_{FR}$, которое должно быть примерно 2,0 отн. ед., равно в среднем 3,8 отн. ед., то есть имеет место критичный недостаток потока в синем и дальнекрасном диапазонах. Следовательно, в составе матрицы корректора необходимо наличие кристаллов, излучающих в этих диапазонах.

Результаты моделирования выявили, что для лампы ДНат 400 необходим фотонный поток матрицы корректора $71,2 \text{ мкмоль} \cdot \text{с}^{-1}$, при этом пропорция потоков синих и дальнекрасных кристаллов должна составлять $k_B : k_{FR} = 64\% : 36\%$. На рисунке 2 показан спектральный состав излучения изготовленной матрицы корректора (кривая К) и получаемого комбинированного потока (Комб) при соотношении в облучательной установке количества натриевых ламп и корректоров 1 : 1.

Лабораторные исследования. Сравнительный эксперимент проводили в условиях световой комнаты, где выращивали рассаду томата сорта Благовест F_1 . Предварительно подготовленные семена растений в количестве 40 шт. замочили в растворе эпина, посеяли в торфогрунт в контейнерах и выдержали в течение 3 дней в темноте. После появления всходов, на четвертый день, каждый контейнер выставили под свой облучатель. Подкормку рассады проводили растворами удобрений K_2SO_4 ; $MgSO_4$; KH_2PO_4 и $Ca(NO_3)_2$. Концентрацию питательного раствора удобрений поддерживали в пределах ЕС 1,8–2,5 мСм/см. Фенологические учеты и наблюдения за ростом и развитием растений проводили через каждые 3–4 дня. Влажность субстрата в горшочках – 75–80% НВ поддерживали дозированным поливом. Температуру воздуха в помещении на уровне 23–25°C обеспечивали с помощью принудительной системы вентилирования воздуха. Выращивание растений закончили на 36 день.

Контрольная и экспериментальная установки находились в двух зонах комнаты и были разделены све-

тонепроницаемой шторой. Контрольная облучательная установка состояла из двух облучателей с натриевыми лампами, соединенных между собой боковыми поверхностями так, что лампы располагались в противоположных направлениях. У экспериментальной установки дополнительно в перпендикулярной оси имелась штанга с двумя корректорами.

У рассады измеряли стандартные биометрические показатели. Содержание сухого вещества в листьях определяли высушиванием до постоянной массы при температуре 105°C. Эксперименты проводили в трехкратной повторности, с вычислением среднего значения биометрических параметров по пяти растениям в каждой повторности.

Стоимость единицы фотонного потока C_M , руб./моль, генерируемого источником света за срок его службы, определяли по формуле:

$$C_M = \frac{\mathcal{E} \cdot T \cdot P \cdot 10^{-3} + \mathcal{C}}{3600 \cdot \Phi \cdot T}, \quad (1)$$

где $\mathcal{E}$ – стоимость электроэнергии, принято $\mathcal{E} = 4 \text{ руб./кВт} \cdot \text{ч}$;

T – срок службы источника, ч.;

P – электрическая мощность источника света, Вт;

$\mathcal{C}$ – стоимость источника света, руб.;

Φ – фотонный поток источника света, мкмоль/с.

Исследования в условиях теплицы. Оценку влияния облучения на взрослые растения томата проводили в теплице Межвиди (Латвия) на взрослых растениях томата сорта *Encore* для трех вариантов:

1 – под натриевыми лампами *Master Green Power CG 230V 400W (PPF 725 μmol/c)*;

2 – под СД-облучателями *Philips GreenPower DR/B LB 400V 190W (PPF 440 μmol/c)*;

3 – под комбинированным излучением.

Во всех вариантах применяли интерлайтинг: два ряда облучателей *GreenPower DR/B LB 230V 115W*.

Влияние типа облучателя на растения оценивали по стабильности развития, характеризуемой величи-



Рис. 3. Расположение корректора в ряду натриевых ламп в комбинированной облучательной установке в теплице

Fig. 3. The location of the corrector in a row of sodium lamps in the combined irradiation unit in the greenhouse

ной флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков (ФА) листовой пластинки. В наших предварительных экспериментах выявлено влияние параметров световой среды на величину ФА [12].

Статистическому анализу были подвергнуты два билатеральных признака: первый – длина первых от верхушечной доли листочков сложного листа томата слева и справа (L_L и L_R); второй – содержание в них хлорофилла (C_L и C_R).

Длину листочков определяли с помощью прозрачной мерной линейки (цена деления 1 мм), накладывая ее вдоль рахиса. Результаты фиксировали с точностью до 0,5 мм.

Неразрушающее определение относительного содержания хлорофилла CCI (*Chlorophyll Content Index*) проводили оптическим методом, учитывающим значительное поглощение света листом в синем и красном диапазонах и отсутствие поглощения в зеленом и инфракрасном, с помощью прибора CCM-200 (*Opti-Science*, США).

Значение показателя ФА для билатерального признака B слева и справа вычисляли по формуле:

$$\Phi A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|B_L^i - B_R^i|}{2 \cdot (B_L^i + B_R^i)}, \quad (2)$$

где i – номер растения;

N – количество измерений.

Полученные данные обрабатывали с помощью пакетов программ *Statistica 6.0* и *Excel 2003*. Статистические различия анализировали с использованием методов дисперсионного анализа. Значимость различий оценивали на уровне $p \leq 0,05$ с помощью критерия Фишера. Статистическая обработка результатов оценки уровня ФА включала проверку данных: нормальное распределение разницы между двусторонними признаками; наличие направленной асимметрии и антисимметрии; зависимость величины асимметрии признака от его размера; сравнение уровня ФА у растений, выращенных при разном качестве облучения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Рассада томата, выращенная под различными источниками света, после окончания лабораторного эксперимента различалась по внешнему виду (рис. 4).

Применение комбинированного облучения улучшает биометрические параметры рассады томата (таблица). Количество листьев увеличилось на 7,1%. Растения выросли более крепкими и коренастыми: высота меньше на 20%. Значительно повысилось содержание хлорофилла в листьях, их сырая масса увеличилась на 2,8%, а содержание сухого вещества – на 10,5%.

Стоимость единицы генерируемого источниками потока для светодиодных источников составила 2,2 руб./моль, для натриевых ламп – 1,8 руб./моль, то есть на 22% меньше. Это означает, что экономически эффективно генерировать основной поток излучения



Рис. 4. Рассада томата под натриевыми лампами (слева) и комбинированным излучением (справа)

Fig. 4. Tomato seedlings under sodium lamps (left) and combined radiation (right)

Таблица			Table
СРАВНЕНИЕ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАССАДЫ COMPARISON OF BIOMETRIC INDICATORS OF SEEDLINGS			
Показатели Indicators	Эксперимент Experiment	Контроль Control	Δ , %
Количество листьев, шт. The number of leaves, pcs	9,6 $\pm$ 0,19	9,0 $\pm$ 0,13	7,1
Высота растения, мм Plant height, mm	207 $\pm$ 7,6	259 $\pm$ 11,2	-19,9
CCI, отн. ед. CCI relative unit	12,9 $\pm$ 0,43	7,5 $\pm$ 0,48	70,7
Сырая масса листьев, г Leaves wet weight, g	5,09 $\pm$ 0,25	4,95 $\pm$ 0,29	2,8
Содержание сухого в-ва, % Dry substance content,%	11,2 $\pm$ 0,2	10,1 $\pm$ 0,35	10,5

с помощью натриевых ламп. Для исправления спектра их излучения рационально применять относительно маломощный корректор, который генерирует поток только в дефицитных диапазонах.

Статистический анализ закона распределения значений асимметрии двусторонних признаков листьев взрослых растений томата, выполненный с использованием согласованных критериев Колмогорова – Смирнова, Шапиро – Уилка и Лиллиефорса, показал, что характер распределения полученных образцов отличается от нормального, поэтому были использованы непараметрические методы статистического анализа. Проверку направленности асимметрии проводили с использованием теста Уилкоксона. Анализ выявил колебания асимметрии признака вокруг нулевого среднего, что является диагностическим признаком ФА. Антисимметрия в анализируемых признаках не выявлена. Для сопоставимости полученных результатов асимметрию нормировали на размер признаков. Отсутствие антисимметрии определили по эксцессу распределения различий между сторонами ($L-R$). Принята гипотеза о флуктуирующем харак-

тере асимметрии.

На интенсивность фотосинтеза влияют два типа факторов: внешние, включая условия освещения, и внутренние, в число которых входит содержание хлорофилла. Количество хлорофилла в листьях варьируется в зависимости от генетики растений, содержания минеральных элементов, факторов окружающей среды и т.д. Эта величина – прямой показатель здоровья и состояния растений. Ее определение неразрушающими методами анализа дает исследователям и агрономам ценную диагностическую информацию, которая может использоваться для многих целей, таких как оценка питательных веществ, управление орошением, борьба с вредителями, оценка экологического стресса, селекция растений. Определение содержания хлорофилла неразрушающими методами хорошо разработано для основных полевых культур и листовых овощей. Наши предыдущие исследования показали, что асимметрия содержания хлорофилла в симметричных частях листа растения томата может служить оценкой стабильности его развития [12].

При анализе влияния типа источника света на стабильность развития растений томата прослеживается определенная тенденция (рис. 5).

Можно констатировать, что наименее благопри-

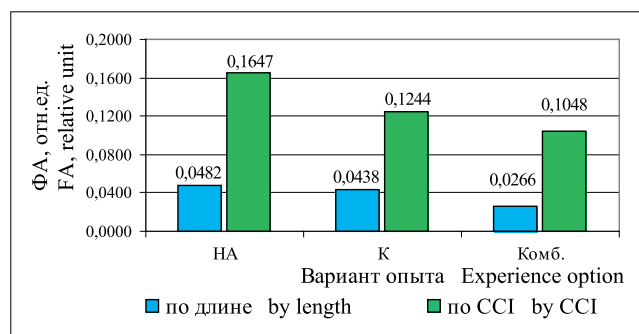


Рис. 5. Значения уровня флуктуирующей асимметрии, рассчитанные по длине листовок и содержанию хлорофилла для разных типов источников света

Fig. 5. The values of the fluctuating asymmetry level, calculated by the leaves length and chlorophyll content for different types of light sources

ятная световая среда формируется под натриевыми лампами. Величина FA , рассчитанная по длине листочков, составляет $FA_L = 0,0482$ отн. ед., по содержанию хлорофилла $FA_C = 0,1647$ отн. ед. Примем эти значения за 100% при оценке.

Применение СД-облучателей улучшает стабильность развития растений на 9%, если оценивать по признаку длины листа ($FA_L = 0,0438$ отн. ед.), и на 25%, если оценивать по признаку содержания хлорофилла ($FA_C = 0,1244$ отн. ед.). Комбинированное облучение по сравнению с натриевыми лампами улучшает стабильность развития растений на 45%, если оценивать по признаку длины листа ($FA_L = 0,0266$ отн. ед.), и на 36%, если оценивать по признаку содержания хлорофилла ($FA_C = 0,1048$ отн. ед.).

При использовании комбинированного облучателя также отмечена большая урожайность плодов томата и лучшие вкусовые качества.

Конечная цель исследований в этом направлении – создание наилучших доступных технологий светокультуры по критерию энергоэкологичности как системному интегративному критерию оптимальности.

Реализация предложенного подхода и продвижение технологии комбинированного облучения позволят достичь максимального эффекта при модернизации и техническом перевооружении теплиц.

Выводы. Выявили положительное биологическое действие комбинированного облучения на растения. Впервые разработана и внедрена технология корректировки спектра традиционной системы досвечивания в тепличных комплексах на базе натриевых ламп путем добавления дефицитных спектральных диапазонов отдельными устройствами – корректорами. Расчеты показали, что стоимость генерирования фотонного потока натриевыми лампами на 22% меньше, чем с помощью светодиодов. Для исправления спектра излучения натриевых ламп разработали корректор, который генерирует поток только в дефицитных диапазонах – синем и дальнекрасном, с соотношением генерируемых потоков 64 и 36% соответственно.

Его общий поток выбирается в зависимости от мощности применяемых ламп и для ДНаТ 400 составляет 71,2 мкмоль/с.

По представленной в работе методике коррекция производится только синими и дальнекрасными светодиодами. При этом обеспечиваются оптимальные соотношения между фотосинтетически активными диапазонами – синим, красным и дальнекрасным. Рассмотренные спектральные соотношения предполагают отсутствие естественной составляющей облучения. При совместном действии солнечного излучения необходимо учитывать его вклад, что ставит задачу адаптивного управления спектром корректора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дорохов А.С., Гришин А.П., Гришин А.А. Принципы синергетики и эксергетического моделирования для управления производственными процессами в закрытых искусственных агроэкосистемах (ЗИАЭС) // *Агротехника и энергообеспечение*. 2019. N3(24). С. 128-139.
2. Menard C., Dorais M., Hovi T., Gosselin A. Developmental and physiological responses of tomato and cucumber to additional blue light. *Acta Hort*. 2006. Vol. 711. 291-296.
3. Nanya K., Ishigami Y., Hikosaka S., Goto E. Effects of blue and red light on stem elongation and flowering of tomato seedlings.

Acta Hort. 2012. Vol. 956. 261-266.

4. Johkan M., Shoji K., Goto F., Hahida S., Yoshihara T. Effect of green light wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in *Lactuca sativa*. *Environmental and Experimental Botany*. 2012. Vol. 75. 128-133.

5. Прикупец Л.Б., Тихомиров А.А. Оптимизация спектра излучения при выращивании овощей в условиях интенсивной светокультуры // *Светотехника*. 1992. N3. С. 5-7.

6. Nelson J., Bugbee B. Supplemental greenhouse lighting: Return on investment for LED and HPS fixtures. *Controlled Environments*. 2013. Paper 2. 216-221.

7. Wheeler R.M. A historical background of plant lighting: an introduction to the workshop. *HortScience*. 2008. Vol. 43(7). 1942-1943.

8. Folta K.M., Koss L.L., McMorro R., Kim H.H., Kenitz J.D., Wheeler R., Sager J.C. Design and fabrication of adjustable red-green-blue LED light arrays for plant research. *BMC Plant*

Biology. 2005. Vol. 5. 17.

9. Прикупец Л.Б., Емелин А.А., Тараканов И.Г. Светодиодные облучатели: из фитотрона в теплицу? // *Теплицы России*. 2015. N2. С. 52-56.

10. Пчелин В.М., Макарова И.Е. Об экономической целесообразности массового внедрения светодиодов в тепличном освещении в настоящее время // *Теплицы России*. 2017. N4. С. 62-66.

11. Moerkensa R., Vanlommel W., Vanderbruggen R. Van Delm T. The added value of LED assimilation light in combination with high pressure sodium lamps in protected tomato crops in Belgium. *Acta Hort.* 2016. 1134.

12. Rakutko S., Alsina I., Avotins A., Berzina K. Manifestation of effect of fluctuating asymmetry of bilateral traits of tomato growing in industrial greenhouses. *Engineering for rural development proceedings*. 2018. 186-191.

REFERENCES

1. Dorokhov A.S., Grishin A.P., Grishin A.A. Printsipy sinergetiki i eksergeticheskogo modelirovaniya dlya upravleniya produktsionnymi protsessami v zakrytykh iskustvennykh agroekosistemakh (ZIAES) [The principles of synergetics and exergetic modeling for managing production processes in closed artificial agroecosystems]. *Agrotehnika i energoobespechenie*. 2019. N3(24). 128-139 (In Russian).

2. Menard C., Dorais M., Hovi T., Gosselin A. Developmental and physiological responses of tomato and cucumber to additional blue light. *Acta Hort.* 2006. Vol. 711. 291-296.

3. Nanya K., Ishigami Y., Hikosaka S., Goto E. Effects of blue and red light on stem elongation and flowering of tomato seedlings. *Acta Hort.* 2012. Vol. 956. 261-266 (In English).

4. Johkan M., Shoji K., Goto F., Hahida S., Yoshihara T. Effect of green light wavelength and intensity on photomorphogenesis and photosynthesis in *Lactuca sativa*. *Environmental and Experimental Botany*. 2012. Vol. 75. 128-133 (In English).

5. Prikupets L.B., Tikhomirov A.A. Optimizatsiya spektra izlucheniya pri vyrashchivanii ovoshchei v usloviyakh intensivnoy svetokul'tury. [Optimization of the emission spectrum when growing vegetables in conditions of intense grow light]. *Svetotekhnika*. 1992. N3. 5-7 (In Russian).

6. Nelson J., Bugbee B. Supplemental greenhouse lighting: Return on investment for LED and HPS fixtures. *Controlled Environments*. 2013. Paper 2. 216-221 (In English).

7. Wheeler R.M. A historical background of plant lighting: an introduction to the workshop. *HortScience*. 2008. Vol. 43(7). 1942-1943 (In English).

8. Folta K.M., Koss L.L., McMorro R., Kim H.H., Kenitz J.D., Wheeler R., Sager J.C. Design and fabrication of adjustable red-green-blue LED light arrays for plant research. *BMC Plant Biology*. 2005. Vol. 5. 17 (In English).

9. Prikupets L.B., Emelin A.A., Tarakanov I.G. Svetodiodnye obluchateli: iz fitotrona v teplitsu? [LED irradiators: from a phytotron to a greenhouse. Greenhouses of Russia]. *Teplitsy Rossii*. 2015. N2. 52-56 (In Russian).

10. Pchelin V.M., Makarova I.E. Ob ekonomicheskoy tselesoobraznosti massovogo vnedreniya svetodiodov v teplichnom osveshchenii v nastoyashchee vremya. [About the economic feasibility of the massive introduction of LEDs in greenhouse lighting today. Greenhouses of Russia]. *Teplitsy Rossii*. 2017. N4. 62-66 (In Russian).

11. Moerkensa R., Vanlommel W., Vanderbruggen R. Van Delm T. 2016. The added value of LED assimilation light in combination with high pressure sodium lamps in protected tomato crops in Belgium. *Acta Hort.* 2016. 1134 (In English).

12. Rakutko S., Alsina I., Avotins A., Berzina K. Manifestation of effect of fluctuating asymmetry of bilateral traits of tomato growing in industrial greenhouses. *Engineering for rural development proceedings*. 2018. 186-191 (In English).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 29.01.2020
The paper was submitted
to the Editorial Office on 29.01.2020

Статья принята к публикации 07.02.2020
The paper was accepted
for publication on 07.02.2020

Травмирование зерна при низкоскоростном соударении с поверхностями рабочих органов подъемно-транспортных машин

Виктор Иванович Пахомов^{1,2},
доктор технических наук, профессор;
Сергей Валерьевич Брагинец¹,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник;
Елена Викторовна Бенова¹,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник;

Олег Николаевич Бахчевников¹,
кандидат технических наук, научный
сотрудник, e-mail: oleg-b@list.ru;
Дмитрий Сергеевич Подлесный²,
ассистент

¹Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Российская Федерация;

²Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Реферат. Для снижения уровня травмирования зерна пшеницы при его послеуборочной обработке предлагают заменять стальные рабочие органы в подъемно-транспортных машинах на полимерные. (*Цель исследования*) Экспериментально определить зависимость степени травмирования зерна пшеницы от количества соударений, угла падения и материала поверхности рабочих органов подъемно-транспортных машин при движении зерна со скоростью до 3,5 метра в секунду. (*Материалы и методы*) Провели эксперименты на установке, воспроизводящей условия низкоскоростного соударения зерен пшеницы с гладкой поверхностью пластины из стали или пластика при различных углах падения и количестве ударов. (*Результаты и обсуждение*) Установили, что существенное снижение травмирования зерна при столкновении с пластиковой пластиной по сравнению со стальной – на 8-10 процентных пунктов – наблюдается лишь при углах падения 60-90 градусов и количестве ударов от 5 до 10. Выявили, что при угле падения до 60 градусов указанная разница не превышает 4 процентных пунктов и достигает нуля при угле 45 градусов. Низкую эффективность замены стальных рабочих органов на пластиковые для снижения травмирования зерна при движении с низкой скоростью объяснили слабым проявлением эффекта уменьшения потенциальной энергии деформации зерна при ударе о пластиковую поверхность при малой скорости их соударения. (*Выводы*) Определили, что при движения зерен со скоростью менее 3,5 метра в секунду в разреженном потоке без взаимодействия между ними, когда происходит соударение отдельных зерен с рабочими органами подъемно-транспортных машин, замена стальных рабочих органов на пластиковые нецелесообразна.

Ключевые слова: зерно пшеницы, травмирование зерна, транспортирование зерна, послеуборочная обработка зерна, пластиковые рабочие органы, подъемно-транспортные машины.

■ **Для цитирования:** Пахомов В.И., Брагинец С.В., Бенова Е.В., Бахчевников О.Н., Подлесный Д.С. Травмирование зерна при низкоскоростном соударении с поверхностями рабочих органов подъемно-транспортных машин // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №2. С. 53-58. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-53-58.

Grain Damage in Low-Speed Collision with the Surfaces of the Hoisting-and-Transport Machines Working Parts

Victor I. Pakhomov,
Dr.Sc.(Eng.), professor;
Sergey V. Braginetz,
Ph.D.(Eng.), leading researcher;
Elena V. Benova,
Ph.D.(Eng.), senior researcher;

Oleg N. Bakhchevnikov,
Ph.D.(Eng.), research fellow,
e-mail: oleg-b@list.ru;
Dmitry S. Podlesnyy,
assistant

¹Agricultural Research Center “Donskoy”, Zernograd, Russian Federation;

²Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract. To reduce the damage level of wheat grains during its post-harvest processing, it is proposed to replace steel working parts in lifting and transporting machines with polymer ones. (*Research purpose*) Experimentally determine the dependence of the degree of wheat grain damage on the number of collisions, the incidence angle and the hoisting-and-transport machines working parts surface material when the grain moves at a speed of up to 3.5 meters per second. (*Materials and methods*) Experiments were carried out on a unit that reproduced the low-speed collision conditions of wheat grains with a smooth steel or plastic surface plate at various angles of incidence and the number of impacts. (*Results and discussion*) The authors identified a significant reduction in grain damage in a collision with a plastic plate compared to a steel plate – by 8-10 percentage points – is observed only at incidence angles of 60-90 degrees and the number of strokes from 5 to 10. It was found that at incidence angle up to 60 degrees, the specified difference didn't exceed 4 percentage points and reached zero at an angle of 45 degrees. The low efficiency of replacing steel working parts with plastic ones to reduce grain damage when driving at low speed was explained by the weak manifestation of the decrease effect in the potential energy of grain deformation upon impact on a plastic surface at a collision low speed. (*Conclusions*) The authors determined that when grains moved at a speed of less than 3.5 meters per second in a rarefied stream without interaction between them, when individual grains collided with the hoisting-and-transport machines working parts, replacing steel working parts with plastic ones was impractical.

Keywords: wheat grain, grain damage, grain transportation, post-harvest grain handling, plastic working parts, hoisting-and-transport machines.

For citation: Pakhomov V.I., Braginets S.V., Benova E.V., Bakhchevnikov O.N., Podlesnyy D.S. Travmirovanie zerna pri nizkoskorostnom soudarenii s poverkhnostyami rabochikh organov podemno-transportnykh mashin [Grain damage in low-speed collision with the surfaces of the hoisting-and-transport machines working parts]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N2. 53-58 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-53-58.

Снижение уровня травмирования зерна при уборке и послеуборочной обработке остается актуальной задачей [1, 2]. Наиболее полно исследован вопрос механического повреждения рабочими органами комбайна, где зерно движется с высокой скоростью – более 20 м/с [3]. Процессы травмирования зерна при перемещении с малой скоростью – до 3,5 м/с – исследованы недостаточно. На малых скоростях происходит соударение зерен с поверхностью рабочих органов подъемно-транспортных машин, в частности норий, винтовых конвейеров, самотечных труб и силосов [4-9].

Проблема травмирования усугубляется тем, что в процессе послеуборочной обработки зерно многократно перемещается подъемно-транспортными машинами, а также из емкости в емкость, испытывая при этом неоднократные удары об их поверхности [2, 10]. Изучению влияния разного числа ударов на травмирование зерен при их транспортировке уделено недостаточно внимания. В основном рассматривают влияние скорости единичного соударения зерна с поверхностями из различных материалов на его целостность либо проводят совокупную оценку травмирования зерен в процессе послеуборочной обработки или в конкретных подъемно-транспортных машинах, без оценки возрастания доли травмированных зерен по мере увеличения количества ударов и влияния на нее угла столкновения [2, 4-14]. В последнее время появились публикации, в которых для снижения травмирования зерна в подъемно-транспортных машинах предлагают изготавливать рабочие органы не из стали, а из пластика [10, 11]. Утверждается, что использование таких рабочих органов значи-

тельно снижает травмирование зерна по сравнению со стальными [10-12]. Эти данные нуждаются в проверке и уточнении для случая низкоскоростного столкновения зерен с рабочими органами подъемно-транспортных машин.

Цель исследования – экспериментально определить зависимость степени травмирования зерна пшеницы от количества соударений, угла падения и материала поверхности рабочих органов подъемно-транспортных машин при движении зерна со скоростью до 3,5 м/с.

Материалы и методы. Опыты проводили на экспериментальной установке, воспроизводящей условия низкоскоростного соударения зерен пшеницы с гладкой поверхностью из стали или пластика (*рис. 1*). Исследовали травмирование зерен при их движении в разреженном потоке.

Экспериментальная установка включала стеклянный трубопровод, закрепленный на стойках. Сверху трубопровода установлена воронка с заслонкой. Под трубопроводом размещена сборная емкость, в которой зафиксирована пластина с гладкой поверхностью.

Высота падения зерен по трубопроводу составляет на 4,2 м. При свободном падении с такой высоты зерно массой около 0,04 г достигает в конечной точке скорости 3,0-3,5 м/с. Зерна падали на гладкую пластину, установленную с возможностью вращения вокруг горизонтальной оси, что позволяло изменять угол столкновения зерна с ее поверхностью. В ходе опытов использовали 3 варианта расположения пластины, обеспечивающие угол падения φ , равный 90, 60 и 45°. Использовали две пластины толщиной 8 мм из стали и из полиэтилена.

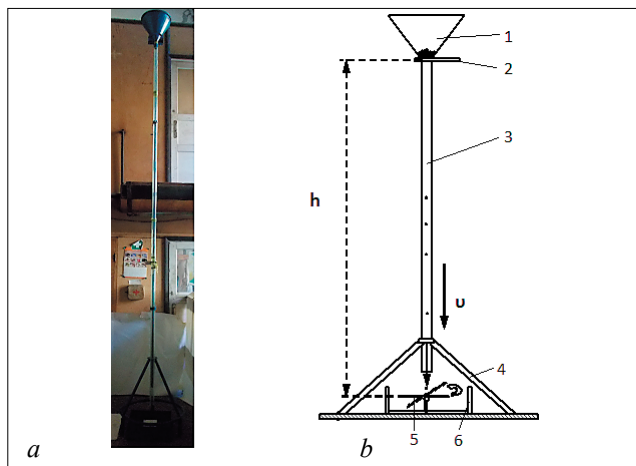


Рис. 1. Экспериментальная установка для изучения травмирования зерна при соударении с поверхностью пластины:

a – общий вид; *b* – схема; 1 – воронка; 2 – заслонка; 3 – трубопровод; 4 – стойка; 5 – пластина; 6 – сборная емкость

Fig. 1. An experimental unit for studying grain damage in collisions with a plate surface: *a* – general view; *b* – scheme; 1 – funnel; 2 – shutter; 3 – pipeline; 4 – stand; 5 – plate; 6 – receiver tank

В начале каждой серии опытов 100 целых зерен засыпали в воронку. После открытия заслонки они падали разреженным потоком по трубопроводу на пластину.

В каждой серии опытов зерна сбрасывали на пластины из стали или пластика, закрепленные под определенным углом. Максимальное количество соударений зерна с поверхностью пластины не превышало $n = 10$ раз. Провели 6 серий опытов. Зерна падали под углом 90, 60 и 45°: в первых трех сериях на поверхность стальной пластины, в следующих трех – пластиковой.

В ходе выполнения серии опытов после количества соударений зерна с пластиной, равного $n = 1, 2, 4, 6, 8, 10$ раз, зерна вынимали из сборной емкости и подвергали визуальному осмотру для определения характера травмирования по методике Пехальского И.А. [15]. Под травмированием зерна понимали повреждение эндосперма (вмятины, выбоины или трещины) и зародыша (вмятины, выбоины или его полная потеря) [16].

В качестве показателя травмирования зерна использовали долю W_n травмированных зерен в партии после n -го соударения:

$$W_n = \frac{N_t}{N} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где N_t – количество травмированных зерен в партии, шт.;

N – общее количество зерен в партии, $N = 100$ шт.

Для уточнения влияния материала пластины на степень травмирования зерна вычисляли разность доли травмированных зерен при падении на стальную и пластиковую пластины при определенных угле и количестве соударений ΔW_n :

$$\Delta W_n = W_{ns} - W_{np}, \quad (2)$$

где W_{ns} – доля травмированных зерен в партии для случая соударения со стальной пластиной, %;

W_{np} – доля травмированных зерен в партии для случая соударения с пластиковой пластиной, %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. При столкновении зерен пшеницы с гладкой поверхностью пластины из стали или пластика часть из них повреждается, причем доля травмированных зерен возрастает с увеличением количества соударений и угла падения.

Зависимость доли травмированных зерен от количества их соударений с поверхностью пластины практически линейная (рис. 2).

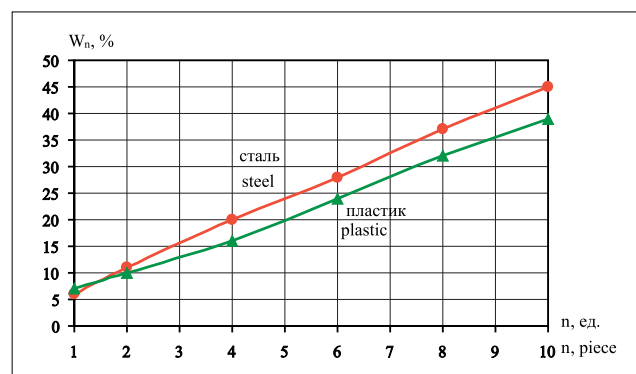


Рис. 2. Зависимость травмирования зерна от количества ударов и материала пластины при угле падения 60°

Fig. 2. Dependence of grain damage on the strokes number and plate material at an incidence angle of 60°

Чтобы оценить различие в степени повреждения зерен при их столкновении с пластинами из стали и пластика, рассмотрим зависимость разности доли зерен, травмированных стальной и пластиковой пластинами ΔW_n , вычисляемой по формуле (2), от угла падения и количества соударений зерна пшеницы с поверхностью пластины (рис. 3).

Достаточно заметное снижение степени травмирования зерна (8-10% в абсолютном выражении) при столкновении с пластиковой пластиной по сравнению со стальной наблюдается лишь при углах падения, близких к 90°, и при количестве соударений от 5 до 10. С уменьшением угла падения разница в доле травмированных зерен снижается, достигая минимума при угле 45°.

Разность доли травмированных зерен между стальной и пластиковой пластинами зависит от количества испытываемых зерном ударов о поверхность. При малом количестве ударов (от 1 до 2) эта разность незначительна и не превышает 1 п.п. (процентного пункта) при всех значениях угла падения. При небольшом количестве соударений (от 2 до 4) этот показатель линейно возрастает с минус 1 до 2,5-4 п.п. Аналогичная зависимость сохраняется и в интервале соударений от 4 до 10. Но рост разности доли травмированных зерен с увеличением количества ударов наблюдает-

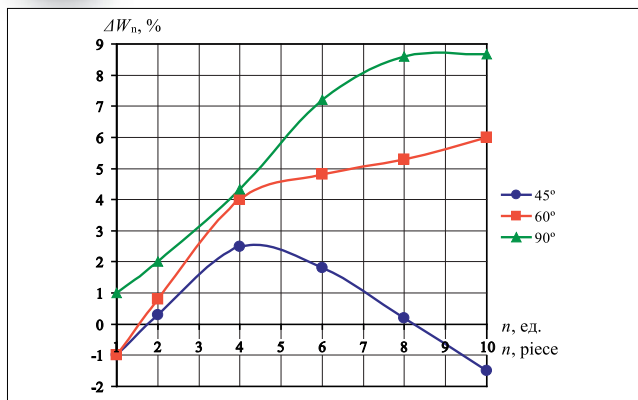


Рис. 3. Зависимость разности доли травмированных зерен между стальной и пластиковой пластинами при определенном угле падения от количества ударов

Fig. 3. The dependence of the difference in the proportion of damaged grains between steel and plastic plates at a certain incidence angle on the strokes number

ся лишь при углах падения более 60°. Причем в диапазоне 8-10 ударов при соударении под углом от 60 до 90° этот показатель ниже 1 п.п.

При значениях угла падения менее 60° разность доли зерен, травмированных стальной и пластиковой пластинами, уменьшается с увеличением количества ударов от 4 до 10, достигая нуля при угле падения 45° при 8 ударах.

Эксперименты показали, что при замене стальной пластины на пластиковую травмирование зерна пшеницы снижается на значимую величину (5-9 п.п.) лишь при большом угле падения – от 60 до 90° – и при 5 и более ударах. При угле падения 60-90° и 1-4 ударах снижение доли травмирования зерна незначительно – до 4 п.п.

При углах падения менее 60° снижение доли травмирования зерен при использовании пластиковой пластины также не превышает 4 п.п., В этом случае при малом количестве ударов от 1 до 4 это значение не более 3,5%.

При угле падения 45° и количестве ударов 1-2 и 8-10 применение пластиковой пластины достоверно не снижает доли травмированных зерен по сравнению со стальной.

Полученные авторами результаты, согласно которым максимальное снижение доли травмирования зерна при замене стальных рабочих органов подъемно-транспортных машин пластиковыми составило 9% в абсолютном выражении, вступают в противоречие с публикациями, информирующими о многократном снижении травмирования зерна [10-12, 15, 16]. Объяснить это можно тем, что в указанных работах исследовали травмирование зерна на высокой скорости (более 10 м/с) при столкновении с поверхностью чаще всего под углом 90°. В этом случае замена действительно повышает эффективность применения пластика, а столкновение под острым углом не изу-

чалось. В частности, при столкновении зерна пшеницы с пластиной под углом 90° на скорости 10-30 м/с зафиксировали снижение доли травмирования для пластиковой пластины в 4-5 раз по сравнению со стальной. По предположению В.П. Забродина с соавторами, такая эффективность пластиковой пластины объясняется «уменьшением потенциальной энергии деформации зерна» и тем, что «при ударе зерна о поверхность с полимерным покрытием доля накопленной зерном потенциальной энергии многократно снижается» вследствие того, что модуль Юнга у пластины из пластика в 1000 раз меньше, чем у стальной.

В тех же немногих исследованиях, где изучали травмирование зерна при низкоскоростном ударе, получили результаты, сходные с представленными в данной статье [2, 4]. По данным В.Б. Фейденгольда, при замене стальной преграды на пластиковую снижение доли травмирования зерна не превысило 2,5% при скорости в момент соударения 6 м/с и не более 20 ударов.

Эти расхождения можно объяснить тем, что эффект уменьшения потенциальной энергии деформации зерна при ударе о пластиковую поверхность слабо выражен при низкой скорости их соударения.

Возможно, при высокой скорости увеличивается вероятность травмирования именно зародыша зерна при ударе зерновки о твердую поверхность. Проведенные эксперименты показали, что 90% травм зерна составляли именно повреждения зародыша.

Для точного определения причин разной степени травмирования зерна при ударе о стальную и пластиковую пластины при низко- и высокоскоростном соударении с поверхностью рабочих органов подъемно-транспортных машин требуется проведение дополнительных исследований, в том числе необходимо дать экспериментальную оценку травмирования зерна при его движении в потоке.

Выводы. Эффективность замены стальной пластины на пластиковую в рабочих органах подъемно-транспортных машин характеризуется разностью доли травмированных зерен. Она повышается с увеличением угла падения зерна и количества испытываемых им ударов, достигая максимума 9% в абсолютном выражении при угле падения 90° при 10 ударах, и снижается при уменьшении угла падения и количества соударений, достигая минимума при угле 45°. В последнем случае замена стальной пластины на пластиковую нецелесообразна.

Установили, что в большинстве случаев доля травмированных зерен не превышает 5%.

На основании результатов проведенного этапа исследований можно предположить, что в условиях движения зерен с малой скоростью менее 3,5 м/с в разреженном потоке без взаимодействия между ними, когда происходит соударение отдельных зерен с рабочими органами подъемно-транспортных машин, заме-

на стальных рабочих органах на пластиковые будет малоэффективна. Учитывая, что на практике движение зерна при работе подъемно-транспортных машин происходит в потоке различной степени разреженности, целесообразно провести дополнительные экспериментальные исследования в этом направлении.

Результаты экспериментов будут использованы в дальнейших исследованиях по разработке методов снижения травмирования зерна в процессе послеуборочной и предпосевной обработки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пехальский И.А., Кряжков В.М., Артюшин А.А., Сорочинский В.Ф. Травмирование внутренних структур зерновки как фактор снижения продуктивности семян зерновых культур // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2016. N117. С. 783-792.
2. Михайлов Е.В., Кольцов М.П. Травмирование семян зерновых культур в процессе послеуборочной обработки и пути его снижения // *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2013. Т. 13. N3. С. 139-145.
3. Lashgari M., Mobli H., Omid M., Alimardani R., Mohtasebi S.S. Qualitative analysis of wheat grain damage during harvesting with John Deere combine harvester. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2008. Vol. 10. N2. 201-204.
4. Фейденгольд В.Б., Белецкий С.Л. Причины травмирования зерна и меры по их устранению // *Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд*. 2016. N6. С. 204-217.
5. Шатохин И.В., Пименов В.Б. Дробление зерна различных культур нориями // *Аспирант*. 2015. N2(7). С. 35-37.
6. Шатохин И.В., Пименов В.Б., Алфеев Д.А., Парфенов А.Г. Снижение травмирования зерна и семян транспортирующими рабочими органами // *Хранение и переработка зерна*. 2015. N1(190). С. 36-38.
7. Ахматов А.А., Оробинский В.И., Солнцев В.Н. Травмирование зерна шнековым питающим устройством // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2015. N4(47). С. 98-101.
8. Zareiforoush H., Komarizadeh M.H., Alizadeh M.R. Effect of crop-screw parameters on rough rice grain damage in handling with a horizontal screw conveyor. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 2010. Vol. 8. N3/4. 494-499.
9. Zareiforoush H., Komarizadeh M.H., Alizadeh M.R. Effects

of crop-machine variables on paddy grain damage during handling with an inclined screw auger. *Biosystems engineering*. 2010. Vol.106. N3. 234-242.

10. Варывдин В.В., Романеев Н.А. Снижение уровня травмирования зерна при его доработке // *Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения*. 2013. N1(12). С. 5-9.

11. Суханова М.В., Забродин В.П. Сравнительный анализ воздействия поверхности различной жесткости рабочих органов сельскохозяйственной техники на твердую частицу сыпучего тела // *Вестник аграрной науки Дона*. 2017. Т.2. N38. С. 19-22.

12. Забродин В.П., Бутенко А.Ф., Суханова М.В., Чепцов С.М. Исследование ударного воздействия механического устройства на семена озимой пшеницы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N2. С. 14-18.

13. Shahbazi F. A Study on the Seed Susceptibility of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Cultivars to Impact Damage. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2012. Vol.14. N3. 505-512.

14. Shahbazi F., Valizadeh S., Dowlatshah A. Mechanical damage to wheat and triticale seeds related to moisture content and impact energy. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 2012. Vol. 14. N4. 150-155.

15. Пехальский И.А., Артюшин А.А., Елизаров В.П., Славкин В.И., Сорочинский В.Ф. Методика определения комплексного травмирования зерна и семян машинами // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2016. N120. С. 399-411.

16. Пехальский И.А. Универсальная классификация травматических повреждений внутренних структур семян сельскохозяйственных культур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2015. Т. 9. N6. С. 9-13.

REFERENCES

1. Pekhal'skiy I.A., Kryazhkov V.M., Artyushin A.A., Sorochinskiy V.F. Travmirovaniye vnutrennikh struktur zernovok kak faktor snizheniya produktivnosti semyan zernovykh kul'tur [Damage of the grains internal structures as a factor in reducing the grain crops seeds productivity]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016. N117. 783-792 (In Russian).
2. Mikhaylov E.V., Kol'tsov M.P. Travmirovaniye semyan zernovykh kul'tur v protsesse posleuborochnoy obrabotki i puti ego snizheniya [Damage of grain crops seeds in the process of post-harvest processing and ways to reduce it]. *Pratsi Tavriys'kogo derzhavnogo agrotekhnologichnogo universitetu*. 2013. T. 13.

N3. 139-145 (In Russian).

3. Lashgari M., Mobli H., Omid M., Alimardani R., Mohtasebi S.S. Qualitative analysis of wheat grain damage during harvesting with John Deere combine harvester. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2008. Vol. 10. N2. 201-204 (In English).

4. Feydengol'd V.B., Beletskiy S.L. Prichiny travmirovaniya zerna i mery po ikh ustraneniyu [The reasons of grain damage and measures to eliminate them]. *Innovatsionnye tekhnologii proizvodstva i khraneniya material'nykh tsennostey dlya gosudarstvennykh nuzhd*. 2016. N6. 204-217 (In Russian).

5. Shatokhin I.V., Pimenov V.B. Droblenie zerna razlichnykh

kul'tur noriyami [Crushing of various cultures grain by norii]. *Aspirant*. 2015. N2(7). 35-37 (In Russian).

6. Shatokhin I.V., Pimenov V.B., Alfeev D.A., Parfenov A.G. Snizhenie travmirovaniya zerna i semyan transportiruyushchimi rabochimi organami [Damage reducing to grain and seeds by transporting working parts]. *Khranenie i pererabotka zerna*. 2015. N1(190). 36-38 (In Russian).

7. Akhmatov A.A., Orobinskiy V.I., Solntsev V.N. Travmirovanie zerna shnekovym pitayushchim ustroystvom [Grain damage by a screw feeding device]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015. N4(47). 98-101 (In Russian).

8. Zareiforush H., Komarizadeh M.H., Alizadeh M.R. Effect of crop-screw parameters on rough rice grain damage in handling with a horizontal screw conveyor. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 2010. Vol.8. N3/4. 494-499 (In English).

9. Zareiforush H., Komarizadeh M.H., Alizadeh M.R. Effects of crop-machine variables on paddy grain damage during handling with an inclined screw auger. *Biosystems engineering*. 2010. Vol.106. N3. 234-242 (In English).

10. Varyvdin V.V., Romanev N.A. Snizhenie urovnya travmirovaniya zerna pri ego dorabotke [Reducing the grain damage level during its refinement]. *Konstruirovaniye, ispol'zovanie i nadezhnost' mashin sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya*. 2013. N1(12). 5-9 (In Russian).

11. Sukhanova M.V., Zabrodin V.P. Sravnitel'nyy analiz vozd-eystviya poverkhnosti razlichnoy zhestkosti rabochikh organov sel'skokhozyaystvennoy tekhniki na tverduyu chastitsu sy-puchego tela [A comparative analysis of the effects of varying

hardness surfaces of the agricultural machinery working parts on a solid particle of a loose part]. *Vestnik agrarnoy nauki Do-na*. 2017. T.2. N38. 19-22 (In Russian).

12. Zabrodin V.P., Butenko A.F., Sukhanova M.V., Cheptsov S.M. Issledovanie udarnogo vozdeystviya mekhanicheskogo ustroystva na semena ozimoy pshenitsy [Investigation of the mechanical device impact on winter wheat seeds]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2018. T. 12. N2. 14-18 (In Russian).

13. Shahbazi F. A Study on the Seed Susceptibility of Wheat (Triticum aestivum L.) Cultivars to Impact Damage. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2012. Vol.14. N3. 505-512 (In English).

14. Shahbazi F., Valizadeh S., Dowlatshah A. Mechanical damage to wheat and triticale seeds related to moisture content and impact energy. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 2012. Vol. 14. N4. 150-155 (In English).

15. Pekhal'skiy I.A., Artyushin A.A., Elizarov V.P., Slavkin V.I., Sorochinskiy V.F. Metodika opredeleniya kompleksnogo travmirovaniya zerna i semyan mashinami [Methodology for determining the complex grain and seeds damage by machines]. *Politematicheskoy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016. N120. 399-411 (In Russian).

16. Pekhal'skiy I.A. Universal'naya klassifikatsiya travmaticheskikh povrezhdeniy vnutrennikh struktur semyan sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Traumatic damage universal classification of the agricultural crops seeds internal structures]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2015. T. 9. N6. 9-13 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

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

Статья принята к публикации 27.05.2020
The paper was accepted
for publication on 27.05.2020

Разработка и исследования воздушно-решетной зерноочистительной машины МЗУ-20Д

Петр Алексеевич Савиных,
доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник,
заведующий лабораторией,
e-mail: peter.savinyh@mail.ru;

Юрий Вячеславович Сычугов,
доктор технических наук,
старший научный сотрудник;
Владимир Аркадьевич Казаков,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: kazakov.vladimir.263@mail.ru

Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого, г. Киров, Российская Федерация

Реферат. Проанализировали рабочий процесс и конструкции машин, задействованных в зерноочистке. Выявили, что энергоемкость универсальных воздушно-решетных машин отечественного и зарубежного производства составляет 0,86-1,61 киловатт-часа на тонну, удельная металлоемкость – 30-700 килограмм-часов на тонну. *(Цель исследований)* Разработать высокопроизводительную зерноочистительную машину первично-вторичной очистки с малой энергоемкостью, высокой степенью очистки семенного и продовольственного зерна, а также с возможностью ее установки в поточных зерноочистительно-сушильных линиях и комплексах. *(Материалы и методы)* Создали новую конструктивно-технологическую схему универсальной зерноочистительной машины МЗУ-20Д и ее пневмосистемы. Изготовили опытный образец производительностью 20 тонн в час, с тремя пневмосепарирующими каналами и тремя осадочными камерами пневмосистемы. Исследовали пылеуловитель воздушной системы машины МЗУ-20Д. *(Результаты и обсуждение)* С применением конечно-элементного метода получили расчетные величины и векторы скоростей воздушного потока в узловых точках сечения пылеуловителя. Жалюзийную решетку пористостью 0,1 установили под углом 30 градусов, при наличии делительной перегородки. Оптимизировали конструктивно-технологические параметры по матрице трехуровневого плана Бокса – Бенкина. По результатам реализации плана выбрали рациональные конструктивные параметры пылеуловителя: глубина выходного патрубка – 0,35 метра, угол установки жалюзи – 30 градусов, число жалюзи – 8. Определили, что при приведении в соответствие параметров пылеуловителя вышеуказанным значениям эффективность осаждения примесей в нем достигает 60 процентов при гидравлическом сопротивлении 260 паскалей. В ходе государственных испытаний машины МЗУ-20Д в СПК «Рассвет» Кировской области на очистке зерна ржи сорта Фаленская подтвердили характеристики: пропускная способность – до 20 тонн в час, установленная мощность – 9 киловатт, чистота зерна – не менее 98 процентов. *(Выводы)* Установили, что машина работоспособна, качественно выполняет технологический процесс и может быть использована, например, при реконструкциях и разработке новых зерноочистительно-сушильных линий и комплексов. **Ключевые слова:** зерноочистка, подготовка семян, очистка семян, зерноочистительная машина, зерноочистительно-сушильные комплексы.

■ **Для цитирования:** Савиных П.А., Сычугов Ю.В., Казаков В.А. Разработка и исследования воздушно-решетной зерноочистительной машины МЗУ-20Д // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №2. С. 59-66. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-59-66.

Development and Research of the MZU-20D Air-Sieve Grain Cleaning Machine

Petr A. Savinykh,
Dr.Sc.(Eng.), professor, chief researcher,
head of the laboratory,
e-mail: peter.savinyh@mail.ru;

Yuri V. Sychugov,
Dr.Sc.(Eng.), senior researcher;
Vladimir A. Kazakov,
Ph.D.(Eng.), senior researcher,
e-mail: kazakov.vladimir.263@mail.ru

Federal Agricultural Scientific Center of North-East, Kirov, Russian Federation

Abstract. The authors analyzed the working process and design of the machines involved in grain cleaning. It was revealed that the energy intensity of universal air-sieve machines of domestic and foreign production is 0.86-1.61 kilowatt-hours per ton, the specific metal consumption is 30-700 kilogram-hours per ton. (*Research purpose*) To develop a high-performance primary-secondary grain cleaning machine with low energy intensity, a high degree of purification of seed and food grain, as well as with the possibility of its installation in continuous grain cleaning and drying lines and complexes. (*Materials and methods*) The authors created a new structural and technological scheme of the universal grain cleaning machine MZU-20D and its pneumatic system. A prototype was produced with a capacity of 20 tons per hour, with three pneumatic separating channels and three sedimentary chambers of the pneumatic system. They investigated the dust collector of the air system of the MZU-20D machine. (*Results and discussion*) Using the finite element method, the calculated values and velocity vectors of the air flow at the nodal points of the dust collector cross-section were obtained. The louvered sieve with a porosity of 0.1 was installed at an angle of 30 degrees, in the presence of a dividing partition. The authors optimized the structural and technological parameters according to the three-level Boxing-Bencina matrix plan. Based on the results of the plan's implementation, rational design parameters of the dust collector were chosen: the depth of the outlet pipe – 0.35 meters, the angle of blinds installation – 30 degrees, the blinds number – 8. It was determined that when the dust collector parameters were brought into line with the above values, the efficiency of the deposition of impurities in it reached 60 percent with hydraulic resistance of 260 pascals. During state tests of the MZU-20D machine at the SPK Rassvet in the Kirov region for cleaning rye grains of the Falenskaya variety, the following characteristics were confirmed: throughput – up to 20 tons per hour, installed capacity – 9 kilowatt, grain purity – at least 98 percent. (*Conclusions*) It was established that the machine was efficient, performed the technological process qualitatively and could be used, for example, during reconstruction and development of new grain cleaning and drying lines and complexes.

Keywords: grain cleaning, seed preparation, seed cleaning, grain cleaning machine, grain cleaning and drying complexes.

For citation: Savinykh P.A., Sychugov YU.V., Kazakov V.A. Razrabotka i issledovaniya vozdušno-reshetnoy zernoochistitel'noy mashiny MZU-20D [Development and research of the MZU-20D air-sieve grain cleaning machine]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N2. 59-66 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-59-66.

Стратегия развития сельского хозяйства России включает совершенствование машинно-технологической базы отрасли, в том числе на этапе послеуборочной обработки зернобобовых культур [1, 2]. Провели сравнительный анализ почти 200 моделей конструкций зерноочистительных машин зарубежного и отечественного производства, а также свыше 4 тыс. патентов путем применения современных пакетов прикладных программ [3, 4]. Наибольшее количество разработок посвящено решетным сепараторам – 42%, пневмосепараторам – 31%, триерам – 11%, вибропневмосепараторам – 10%, машинам спецназначения – 6% (рис. 1). Утвердилась тенденция создания комбинированных зерно-семяочистительных машин. В этих машинах применяют двукратную воздушную сепарацию, а для повышения эффективности их работы используют фракционирование воздушным потоком и решетками.

Удельная энергоёмкость решетных машин предварительной очистки как отечественного, так и зарубежного производства находится приблизительно в одинаковых пределах и составляет 0,12-0,44 кВт·ч/т, универсальных воздушно-решетных машин – 0,86-1,61 кВт·ч/т, вибропневмосепараторов – 1,88-3 кВт·ч/т, триеров – 0,22-0,29 кВт·ч/т, машин специального назначения – 1-13 кВт·ч/т. Удельная металлоёмкость зерноочистительных машин отечественного производства в 1,3-1,8 раза меньше, чем у зарубежных аналогов, и находится в пределах 30-700 кг·ч/т [5, 6].

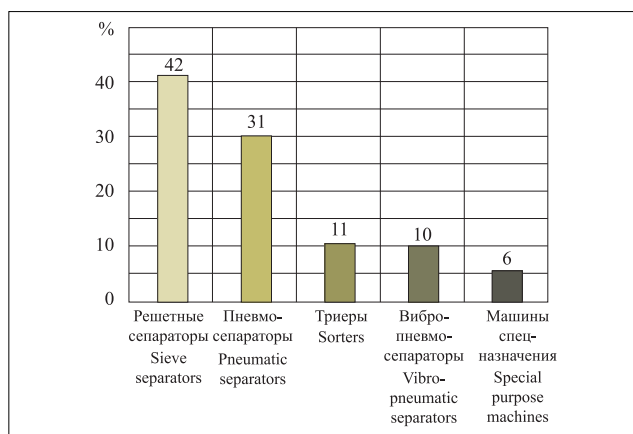


Рис. 1. Зависимость числа разработок машин от типов рабочих органов

Fig. 1. Dependence of machine developments number on the working bodies types

Чтобы уменьшить металлоёмкость, количество операций и транспортирующих рабочих органов, необходимо использовать новые технологии, универсальные или комбинированные сепараторы.

Таким же образом проведен анализ пневмосистем зерноочистительных машин и их рабочих органов, который позволяет считать наиболее перспективным применение разомкнутой пневмосистемы для универсальной зерноочистительной машины, работающей по фракционной технологии на первичной и вторичной очистке зернового материала [7, 8].

Цель исследования – разработать высокопроизводительную зерноочистительную машину первично-вторичной очистки с малой энергоемкостью, высокой степенью очистки семенного и продовольственного зерна, а также с возможностью ее установки в поточных зерноочистительно-сушильных линиях и комплексах.

Материалы и методы. Провели анализ технологий и зерноочистительных машин отечественного и зарубежного производства [9, 10]. Выявили, что эти технические средства несовершенны и не могут качественно выполнять технологический процесс очистки зерна. Их воздушные системы требуют доработки, а некоторые узлы необходимо исследовать и усовершенствовать. В ФАНЦ Северо-Востока разработали зерноочистительную машину МЗУ-20Д (патент RU № 2513391) первично-вторичной очистки с возможностью фракционирования. Она имеет пневмосистему разомкнутого типа (патент RU № 2229787) с вентилятором, двумя осадочными камерами, жалюзийным противоточным пылеуловителем и пневмосепарирующими каналами дорешетной и двумя послерешетной аспирации (рис. 2).

Новизна и отличие конструкции и технологического процесса машины от аналогов заключается в следующем. Вертикальная часть канала послерешетной аспирации разделена двумя сплошными вертикальными стенками, параллельными боковым стенкам канала. Образуются три секции канала. Средняя секция представляет собой первый канал послерешетной аспирации и снабжена механизмом независимого регулирования скорости воздуха, а также устройством ввода зерна в канал. Боковые секции формируют второй канал послерешетной аспирации. Они снабжены механизмом независимого регулирования скорости воздуха и устройством ввода зерна в канал. При этом на скатных досках среднего и нижнего ярусов решет нижнего решетного стана смонтированы пластины для направления зерновых фракций в соответствующие устройства ввода зерна. Через них зерно поступает в каналы послерешетной аспирации для равномерного распределения по ширине канала. Первый и второй каналы послерешетной аспирации образованы в результате разделения вертикальной части общего канала послерешетной аспирации двумя сплошными стенками, что значительно упрощает конструкцию и снижает металлоемкость каналов.

Кроме того, устройство ввода зерновой фракции во второй канал послерешетной аспирации смонтировано вне зоны забора воздуха в первый канал послерешетной аспирации и не нарушает однородности воздушного потока в нем, что повышает эффективность очистки зерна от примесей.

В итоге конструктивное исполнение элементов пневмосепарирующей системы и решетной части упрощается, металлоемкость машины снижается, а

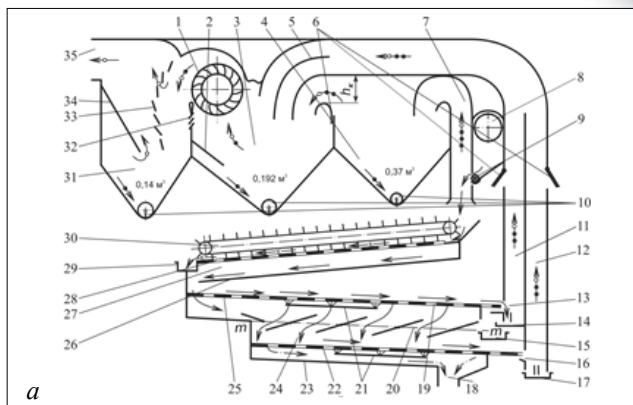


Рис. 2. Конструктивно-технологическая схема (а) и общий вид машины первично-вторичной очистки МЗУ-20Д (б):

1 – вентилятор; 2 – перегородка; 3 – вторая осадочная камера; 4 – первая осадочная камера; 5 – перегородка; 6 – регулировки скорости; 7 – канал дорешетной аспирации; 10 – выводные шнеки; 11 – первый пневмосепарирующий канал послерешетной аспирации; 12 – второй пневмосепарирующий канал; 13, 16 – вводные окна в первый и второй пневмосепарирующие канал; 14, 15, 17, 18 – приемники зернового материала; 20 – скатные доски; 21 – щетки; 22, 25, 28 – решета; 23 – скатная доска; 24 – нижний решетный стан; 26 – скатная доска верхнего решетного стана; 27 – верхний решетный стан; 29 – приемное устройство крупных примесей; 30 – скребковый транспортер; 31 – осадочная камера пылеуловителя; 32 – жалюзийная перегородка; 33 – жалюзийная решетка; 34 – разделительная перегородка; 35 – выходной патрубок

Fig. 2. Structural-technological scheme (a) and general view of the primary-secondary cleaning machine MZU-20D (b):

1 – fan; 2 – partition; 3 – second sedimentary chamber; 4 – first sedimentary chamber; 5 – partition; 6 – speed adjustment; 7 – channel pre-sieve aspiration; 10 – output screws; 11 – first pneumatic separation channel post-sieve aspiration; 12 – second pneumatic separation channel; 13, 16 – input windows into the first and second pneumatic separating channel; 14, 15, 17, 18 – receivers of grain material; 20 – pitched boards; 21 – brushes; 22, 25, 28 – sieves; 23 – pitched board; 24 – lower sieve mill; 26 – pitched board of the upper sieve mill; 27 – upper sieve mill; 29 – receiving device of large impurities; 30 – scraper conveyor; 31 – sedimentary chamber of the dust collector; 32 – louvered partition; 33 – louvered sieve; 34 – dividing wall; 35 – outlet pipe

эффективность очистки от легких примесей зерновой фракции, поступившей в первый канал послерешетной аспирации, повышается.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Качественные показатели работы машины МЗУ-20Д зависят от работы ее решетной части и пневмосистемы. Провели анализ экспериментальных и теоретических исследований, конструкций устройств очистки воздуха от легких примесей [11, 12]. Разработали устройство для создания воздушного потока и очистки его от пыли (патент № 2294235) и установили в пневмосистему разомкнутого типа зерноочистительной машины МЗУ-20Д (рис. 3).

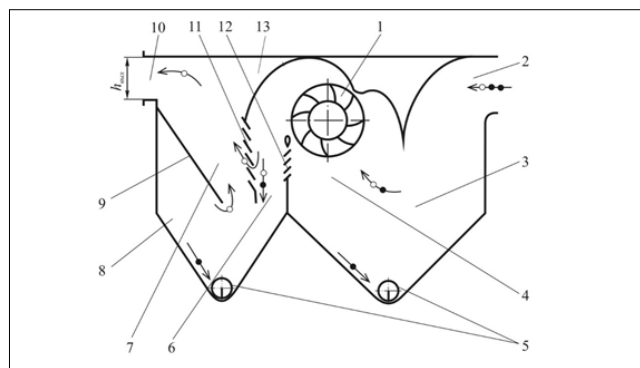


Рис. 3. Схема устройства для создания и очистки воздушного потока от примесей: 1 – диаметральный вентилятор; 2 – входной патрубок; 3 – осадочная камера; 4 – входное окно; 5 – выходные устройства пылевидных отходов; 6, 7 – выходные патрубки; 8, 13 – осадочная камера; 9 – разделительная перегородка; 10 – выходной патрубок; 11 – жалюзийная решетка; 12 – смежная жалюзийная стенка

Fig. 3. The device scheme for creating and cleaning the air flow from impurities: 1 – diametrical fan; 2 – inlet pipe; 3 – sedimentary chamber; 4 – input window; 5 – output devices of pulverized waste; 6, 7 – output nozzles; 8, 13 – sedimentary chamber; 9 – dividing wall; 10 – outlet pipe; 11 – louvered sieve; 12 – adjacent louvered wall

Запыленный воздушный поток посредством вентилятора поступает через входной патрубок, пройдя осадочную камеру, в которой происходит предварительное осаждение примесей. Далее через входное окно он проходит межлопаточное пространство вентилятора и подается во входное окно пылеуловителя – выходного окна этого вентилятора. Частицы пыли воздушного потока, скользя по жалюзийной решетке, попадают в осадочную камеру и оседают на ее дне, а затем удаляются наружу. Очищенный воздушный поток выходит наружу.

Применение предлагаемого устройства, которое объединяет в себе генератор воздушного потока и пылеуловитель, а также входит в состав пневмосистемы, позволит снизить металлоемкость и уменьшить габаритные размеры машины.

При внедрении устройства в пневмосистему ма-

шины, габаритные размеры решет и отдельных узлов создали определенные трудности при размещении пылеуловителя, параметры которого выбраны с учетом рекомендаций ученых и исследователей. Чтобы скорректировать изменения, исследовали движение воздушного потока в камере пылеуловителя с помощью конечно-элементного метода. Предстояло выравнять поля скоростей потока на выходе из пылеуловителя с последующей оптимизацией конструктивных параметров. Камеру пылеуловителя разбили на ряд элементов. Каждый элемент рассмотрели отдельно. Затем провели аппроксимацию потенциала скоростей u во всей области сечения, используя базисные функции ϕ_i , по уравнению (1):

$$u = \sum_{i=1}^S \phi_i u_i = \{\phi\}^T \{u\}^n, \quad (1)$$

где i – номер узла в местной системе для треугольного элемента с $S = 3$;

m – количество треугольных элементов;

n – количество узлов в треугольном элементе.

Выведем матрицы КЭ (конечные элементы) на основании уравнения Лапласа с граничными условиями:

$$h_x \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + h_y \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} = 0, \quad (2)$$

где h_x, h_y – коэффициенты фильтрации, которые могут быть различными в разных направлениях с граничными условиями обоих типов:

$$1) u = \bar{u} \text{ на } S_1;$$

$$2) h \frac{\partial u}{\partial n} = \bar{q}_n \text{ на } S_2;$$

$$\bar{q}_n = \alpha_{nx} h_x \frac{\partial u}{\partial x} + \alpha_{ny} h_y \frac{\partial u}{\partial y}. \quad (3)$$

Для решения уравнения (2) используем вариационную формулировку метода Галеркина и, проведя математические преобразования, получаем уравнение:

$$\begin{aligned} & \delta \{u\}^{n,m} \frac{1}{4A^2} \iint_{(A)} \{h_x \{b\} \{b\}^m + \\ & + h_y \{\alpha\} \{\alpha\}^m\} dx dy \{u\}^n = \\ & = \delta \{u\}^{n,m} \int_{(S)} \{\phi\} \bar{q}_n dS. \end{aligned} \quad (4)$$

После интегрирования для каждого элемента приходим к уравнениям:

$$[K^e] \{u\}^n = \{P^e\}, \quad (5)$$

где K^e – матрица коэффициентов влияния для треугольного элемента.

Объединяя (5) по всей области течения, получим

уравнение:

$$[K]\{u\}_n = \{P\}, \quad (6)$$

где $\{u\}_n$ – глобальные узловые неизвестные.

Решение уравнения (6) дает потенциалы скоростей во всех точках области, по которым с помощью вы-

ражений (7) получаем значение скоростей $\begin{Bmatrix} v_x \\ v_y \end{Bmatrix}$ в каждом КЭ:

$$\begin{Bmatrix} v_x \\ v_y \end{Bmatrix} = \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} h_x b_1 & h_x b_2 & h_x b_3 \\ h_y \alpha_1 & h_y \alpha_2 & h_y \alpha_3 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_{n1} \\ u_{n2} \\ u_{n3} \end{Bmatrix}. \quad (7)$$

По изложенному алгоритму составлены компьютерные программы для расчета скоростей воздушно-го потока.

Для качественного исследования потока воздуха в пылеуловителе его камеру в масштабе разбили на конечные элементы – треугольники (рис. 4). Жалюзийная решетка принимается в виде области, пористость которой варьируется по величине и направлению. Изменяемым параметром также является наличие или отсутствие делительной перегородки.

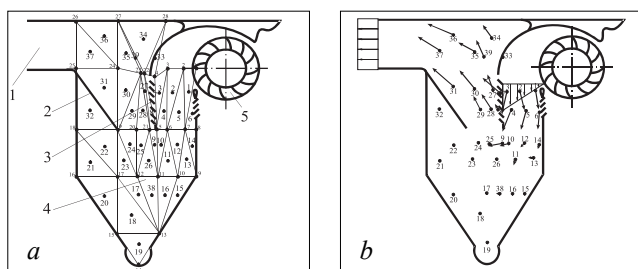


Рис. 4. Технологическая схема пылеуловителя:

а – схема разбиения его на элементы; б – величины и направления векторов скоростей воздушного потока:

1 – входной патрубок; 2 – делительная перегородка 3 – жалюзийная решетка; 4 – 38-й элемент осадочной камеры

Fig. 4. Technological scheme of the dust collector:

а – scheme of its division into elements, б – values and directions of vectors of air flow velocities:

1 – inlet pipe; 2 – dividing partition; 3 – louvered sieve; 4 – 38th element of the sedimentary chamber

Проведены исследования четырех вариантов конструкций пылеуловителя.

В результате численного эксперимента получены расчетные величины и векторы скоростей воздушного потока в точках сечения пылеуловителя при различных исходных данных. Наиболее приемлемый вариант – жалюзийная решетка пористостью 0,1, установленная под углом 30° при наличии делительной перегородки.

В этом случае воздушный поток доходит до элемента 38 (рис. 4). Причем вектор скорости имеет малую величину, а в соседних элементах, где векторы также незначительны или равны нулю, создаются бла-

гоприятные условия для осаждения пыли. Очищенный воздух, прошедший через жалюзийную решетку, смешивается с потоком воздуха из патрубка противоточного отделителя и удаляется в атмосферу через выходной патрубок.

Вентилятор для пневмосистемы выбирали с учетом его размеров, типа и конструкции, из числа исследованных и оптимизированных. За прототип взяли диаметральный вентилятор (патенты № 2192563, 2213888, 2174626): рабочее колесо диаметром $D_2 = 0,4$ м; число цилиндрических лопаток $z = 24$; радиус лопаток $R_l = 0,039$ м с углами их установки $\beta_1 = 82^\circ$ и $\beta_2 = 160^\circ$; углы кривизны и разворота спирали корпуса $\alpha = 76^\circ$ и $\varphi_{\max} = 165^\circ$ соответственно; смежная стенка с пылеуловителем с числом жалюзи $z_{\text{ж}} = 4$ и углом их установки $\gamma_{\text{ж}} = 35^\circ$.

По проведенным ранее исследованиям первый пневмоканал канал выбрали глубиной 0,18 м, второй и третий – 0,125 м. Объем осадочных камер: первой – $0,17 \text{ м}^3$, второй – $0,192 \text{ м}^3$, пылеуловителя – $0,14 \text{ м}^3$. Проверили работу пневмосистемы с установленным вентилятором при оборотах рабочего колеса 825 мин^{-1} . В пневмосепарирующем канале дроссельными заслонками имитировали зерновую нагрузку от 0 до 1.

Изучено влияние аэродинамических характеристик работы вентилятора для рассматриваемой пневмосистемы в нагнетающей и всасывающей сети. Установлено, что наилучший КПД вентилятора в сети достигает $\eta = 0,4$ при расходе воздуха $Q = 9 \text{ м}^3/\text{с}$ и потребляемой мощности $N = 1,75 \text{ кВт}$. При полной нагрузке вентилятора имеем: $\eta = 0,32$, $Q = 1,25 \text{ м}^3/\text{с}$, $N = 2,6 \text{ кВт}$. Проведенные исследования показали стабильную работу вентилятора, способную обеспечить нужный режим качественной сепарации зерна.

Провели оптимизацию наиболее важных конструктивных параметров пылеуловителя. Выделили: x_1 – угол наклона жалюзи в жалюзийной решетке; x_2 – глубина выходного патрубка жалюзийного пылеуловителя ($h_{\text{вых}}$); x_3 – число жалюзи в жалюзийной решетке при фиксированных длине l и шаге S пластин в решетке (рис. 5).

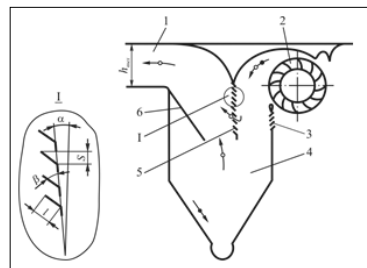


Рис. 5. Схема оптимизируемого пылеуловителя: 1 – выходной патрубок; 2 – вентилятор; 3 – жалюзийная стенка; 4 – осадочная камера; 5 – жалюзийная решетка; 6 – перегородка

Fig. 5. Scheme of the optimized dust collector: 1 – outlet pipe; 2 – fan; 3 – louvered wall; 4 – sedimentary chamber; 5 – louvered sieve; 6 – partition

Факторы и уровни их варьирования FACTORS AND ITS VARIATION LEVELS					
Уровни Levels	Факторы Factors			Критерии оптимизации Optimization criteria	
	угол наклона жалюзи в решетке, β , град. angle of the blinds in the sieve, β , degrees	глубина выходного патрубка, $h_{\text{вых}}$, м outlet pipe depth, $h_{\text{вых}}$, m	число жалюзей в жалюзийной решетке z , шт. number of blinds in the louvered sieve z , pcs.	эффективность осаждения примесей E_o , % efficiency of the deposition of impurities E_o , %	аэродинамическое сопротивление пылеуловителя P_y , Па dust collector aerodynamic drag, P_y , Pa
	x_1	x_2	x_3	$\bar{y}_1'$	$\bar{y}_2'$
Верхний (+1) Upper (+1)	35	0,35	12	—	—
Основной (0) Principal (0)	30	0,30	10	—	—
Нижний (-1) Lower (-1)	25	0,25	8	—	—

Глубина осадочной камеры с учетом конструктивных ограничений принята максимально возможной. В качестве критериев оптимизации выбраны y_1 – эффективность выделения примесей E_o и y_2 – аэродинамическое сопротивление пылеуловителя PSV (таблица).

Для достижения максимальной эффективности и осаждения примесей и минимального значения аэродинамического сопротивления реализовали план Бокса – Бенкина для матрицы 2^3 , получив математические модели:

$$y_1 = 60,1 + 2,75x_1 + 3,4x_2 + 1,53x_3 - 1,69x_1^2 + 2,03x_1x_2 - 4,83x_1x_3 - 3,64x_2^2 - 1,23x_2x_3 - 9,99x_3^2; \quad (8)$$

$$y_2 = 289,3 + 11,45x_1 + 27,14x_2 + 10,79x_3 + 0,65x_1^2 + 2,73x_1x_2 - 21,18x_1x_3 - 28,03x_2^2 - 7,2x_2x_3 - 48,73x_3^2. \quad (9)$$

Математические модели анализировали графически методом наложения двумерных сечений поверхностей отклика (рис. 6).

Анализ двумерных сечений модели 8 (рис. 6а, 6б) показывает, что максимальная эффективность осаждения примесей $E_o = 56,4\%$ наблюдается при числе жалюзи $z = 8$, угле их наклона $\beta = 35^\circ$ и глубине выходного патрубка пылеуловителя $h_{\text{вых}} = 0,35$ м. При этом гидравлическое сопротивление равно 264,4 Па. Однако минимальное сопротивление пылеуловителя 262 Па достигается при $z = 12$ штук и $h_{\text{вых}} = 0,35$ м.

Анализ двумерных сечений модели 9 (рис. 6с, 6д) показывает, что максимальная эффективность осаждения примесей $E_o = 60,5\%$ достигается при угле установки жалюзи $\beta = 30^\circ$ и глубине выходного патрубка $h_{\text{вых}} = 0,32$ м, при этом гидравлическое сопротивление пылеуловителя составляет 258 Па.

Проведенные экспериментальные исследования позволили определить основные рациональные параметры инерционного жалюзийно-противоточного пылеуловителя: глубина выходного патрубка $h_{\text{вых}} = 0,35$ м;

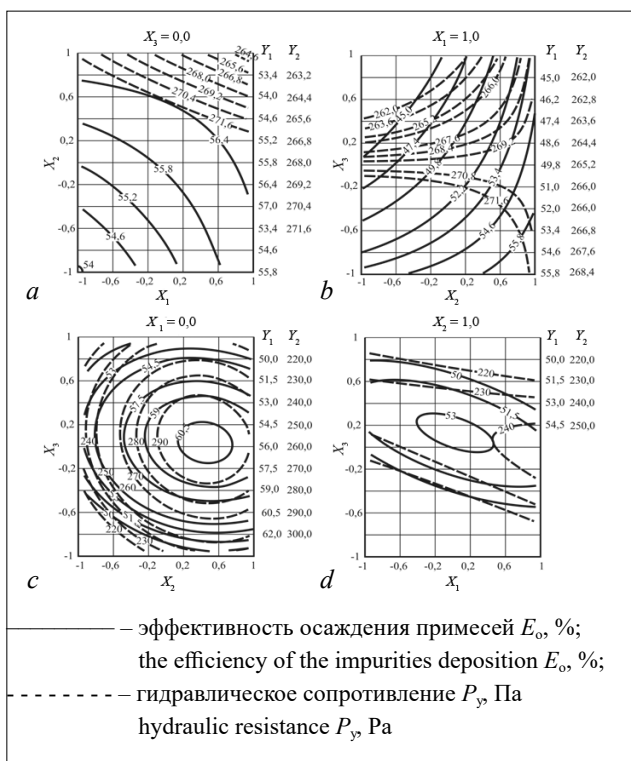


Рис. 6. Двумерные сечения поверхностей откликов для критериев оптимизации y_1 – эффективности выделения примесей E_o и y_2 – аэродинамического сопротивления пылеуловителя PSV : а – при $x_3 = 0$; б – при $x_1 = 1$; в – при $x_1 = 0$; д – при $x_2 = 1$

угол установки жалюзи $\beta = 30^\circ$; число жалюзи $z = 10$. При этом эффективность осаждения примесей достигает $E_o = 60\%$, гидравлическое сопротивление пылеуловителя $P_y = 260$ Па.

ФГУ «Кировская МИС» (протокол № 06-34-2008) провела государственные испытания зерноочистительной машины МЗУ-20Д в режиме вторичной очистки

ки на зерне ржи сорта Фаленская по фракционной технологии на подачах от 6000 до 19000 кг/ч с влажностью 12%, чистотой 97-98% в СПК «Рассвет» Кировской области. Испытания показали следующее:

1. За один проход крупная фракция по содержанию семян основной культуры и наличию в них различных примесей соответствовала нормам, предъявляемым к элитным семенам, на подачах от 6000 до 15000 кг/ч, а на подаче до 19000 кг/ч – характеристикам репродукционных семян.

2. Мелкая фракция по содержанию семян основной культуры соответствовала нормам репродукционных семян на подачах от 6000 до 13000 кг/ч, а от 13000 до 19000 кг/ч – категории репродукционных семян для производства товарной продукции.

3. Потери зерна основной культуры в отход составили 1,86-3,35% (при требованиях не более 5%), дробление не превысило 0,2% (при норме до 1%).

Определено, что машина работоспособна, качественно выполняет технологический процесс и может быть использована, например, при реконструкциях и разработке новых зерноочистительно-сушильных линий и комплексов. ФГУ «Кировская МИС» рекомендует изготовить опытную партию данных машин с учетом устранения полученных при проведении испытаний замечаний.

Выводы

1. Провели анализ конструкций зерноочистительных машин. На его основе разработали и изготовили опытный образец универсальной зерноочистительной машины МЗУ-20Д. С учетом уровня техники вы-

брали тип воздушной системы для данной зерноочистительной машины, определили основные величины конструктивных и технологических параметров ее каналов и осадочных камер.

2. Для пневмосистемы машины МЗУ-20Д разработали конструктивно-технологическую схему пылеуловителя. Исследовали движение воздушного потока в камере пылеуловителя с помощью конечно-элементного метода, получили расчетные величины и векторы скоростей воздушного потока в узловых точках пылеуловителя при установке жалюзийной решетки пористостью 0,1 под углом 30°, при наличии делительной перегородки.

3. Оптимизировали основные конструктивно-технологические параметры пылеуловителя, для чего реализовали план Бокса – Бенкина для матрицы 2^3 . Выбрали рациональные конструктивные параметры пылеуловителя: глубина выходного патрубка $h_{\text{вых}} = 0,35$ м, угол установки жалюзи $\beta = 30^\circ$, число жалюзи $z = 8$. При приведении в соответствие параметров пылеуловителя вышеуказанным значениям эффективность осаждения примесей в нем достигает $E_o = 60\%$ при гидравлическом сопротивлении пылеуловителя $P_y = 260$ Па.

4. Государственные испытания, проведенные Кировской МИС, подтвердили, что машина работоспособна, качественно выполняет технологический процесс и может быть использована, например, при реконструкции и разработке новых зерноочистительно-сушильных линий и комплексов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бурков А.И. Тенденции развития воздушно-решетных зерноочистительных машин на современном этапе // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2018. N2(63). С. 4-15.

2. Бурков А.И., Глушков А.Л., Лазыкин В.А. Разработка зерноочистительных машин, функционирующих по фракционной технологии // *Пермский аграрный вестник*. 2018. N3(23). С. 12-19.

3. Сысуев В.А., Кедрова Л.И., Уткина Е.И., Лаптева Н.К. Методы и технологии промышленной переработки зерна озимой ржи с целью эффективного использования в хлебопекарной, комбикормовой, крахмалопаточной и других отраслях промышленности // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2013. N1(32). С. 4-10.

4. Савиных П.А., Сычугов Ю.В., Казаков В.А. Фракционная технология и устройства послеуборочной обработки и переработки зерна плющением // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N4. С. 16-21.

5. Marczuk A., Caban J., Kartashevich A., Plotnikov S.A., Savinykh P.A., Gardyński L. Production and Use of Rapeseed Oil in Power Plant Machinery in the Northeast of European Part. *Jökull Journal*. 2017. Vol. 67. N8. 8-21.

6. Сысуев В.А., Сайтов В.Е., Сайтов А.В. Состояние про-

блемы очистки зернового вороха от вредных примесей // *Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства*. 2016. N18. С. 248-253.

7. Бурков А.И., Глушков А.Л., Лазыкин В.А. Влияние зернового материала на поле скоростей и расчетные траектории частиц в вертикальном пневмосепарирующем канале // *Энергосберегающие агротехнологии и техника для северного земледелия и животноводства: Монография / под общей редакцией В.А. Сысуева*. Киров: Кировская областная типография. 2018. С. 7-15.

8. Сысуев В.А., Алешкин А.В., Сычугов Ю.В., Исупов Ю.А. Комбинированные расчетные схемы в математических моделях процессов фракционирования зерна // *Теоретическая и прикладная экология*. 2018. N4. С. 24-29.

9. Dal-Pastro E., Facco P., Bezze E., Zamproga E., Barolo M. Data-driven modelling of milling and sieving operations in wheat milling process. *Food and Bioproducts Processing*. 2016. Vol. 99. 99-108.

10. Bulgakov V., Pascuzzi S., Ivanovs S., Kaletnik G., Yanovich V. Angular oscillation model to predict the performance of a vibratory ball mill for the fine grinding of grain. *Biosystems*

Engineering. 2018. Vol. 171. 155-164.

11. Smejtkova A., Vaculik P., Prikryl M. Rating of malt grist fineness with respect to the used grinding equipment. *Research in Agricultural Engineering*. 2016. N62(3). 141-146.

12. Солонщиков П.Н., Мошонкин А.М., Доронин М.С. Со-

вершенствование машин и оборудования в производстве кормов в животноводстве // *Вестник Нижегородского государственного инженерно-экономического университета*. 2017. N9(76). С. 64-76.

REFERENCES

1. Burkov A.I. Tendentsii razvitiya vozdušno-reshetnykh zernoochistitel'nykh mashin na sovremennom etape [Trends in the development of air-sieve grain cleaning machines at the present stage]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2018. N2(63). 4-15 (In Russian).

2. Burkov A.I., Glushkov A.L., Lazykin V.A. Razrabotka zernoochistitel'nykh mashin, funktsioniruyushchikh po fraktsionnoy tekhnologii [The development of grain cleaning machines operating according to fractional technology]. *Permskiy agrarnyy vestnik*. 2018. N3(23). 12-19 (In Russian).

3. Sysuev V.A., Kedrova L.I., Utkina E.I., Lapteva N.K. Metody i tekhnologii promyshlennoy pererabotki zerna ozimoy rzhiz tsel'yu effektivnogo ispol'zovaniya v khlebopekarnoy, kombikormovoy, krakhmalopatochnoy i drugikh otraslyakh promyshlennosti [Methods and technologies for the industrial processing of winter rye grain for the purpose of efficient use in bakery, animal feed, starch and other industries]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2013. N1(32). 4-10 (In Russian).

4. Savinykh P.A., Sychugov Yu.V., Kazakov V.A. Fraktsionnaya tekhnologiya i ustroystva posleuborochnoy obrabotki i pererabotki zerna plyushcheniem [Fractional technology and devices for post-harvest processing and processing of grain by flattening]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. N4. 16-21 (In Russian).

5. Marczuk A., Caban J., Kartashevich A., Plotnikov S.A., Savinykh P.A., Gardyński L. Production and Use of Rapeseed Oil in Power Plant Machinery in the Northeast of European Part. *Jökull Journal*. 2017. Vol. 67. N8. 8-21 (In English).

6. Sysuev V.A., Saitov V.E., Saitov A.V. Sostoyanie problemy oчитки zernovogo vorokha ot vrednykh primesey [The state of the problem of cleaning grain heap from harmful impurities]. *Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktsii sel'skogo khozyaystva*. 2016. N18. 248-253 (In Russian).

7. Burkov A.I., Glushkov A.L., Lazykin V.A. Vliyanie zernovogo materiala na pole skorostey i raschetnye traektorii chastits v vertikal'nom pnevmosepariruyushchem kanale [The effect of grain material on the velocity field and calculated particle trajectories in a vertical pneumatic separating channel]. *Energoberegayushchie agrotekhnologii i tekhnika dlya severnogo zemledeliya i zhivotnovodstva: Monografiya* / ed. V.A. Sysuev. Kirov: Kirovskaya oblastnaya tipografiya. 2018. 7-15 (In Russian).

8. Sysuev V.A., Aleshkin A.V., Sychugov Yu.V., Isupov Yu.A. Kombinirovannyye raschetnye skhemy v matematicheskikh modelyakh protsessov fraktsionirovaniya zerna [Combined design schemes in mathematical models of grain fractionation processes]. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2018. N4. 24-29 (In Russian).

9. Dal-Pastro E., Facco P., Bezzo E., Zamprogna E., Barolo M. Data-driven modelling of milling and sieving operations in wheat milling process. *Food and Bioproducts Processing*. 2016. Vol. 99. 99-108 (In English).

10. Bulgakov V., Pascuzzi S., Ivanovs S., Kaletnik G., Yanovich V. Angular oscillation model to predict the performance of a vibratory ball mill for the fine grinding of grain. *Biosystems Engineering*. 2018. Vol. 171. 155-164 (In English).

11. Smejtkova A., Vaculik P., Prikryl M. Rating of malt grist fineness with respect to the used grinding equipment. *Research in Agricultural Engineering*. 2016. N62 (3). 141-146 (In English).

12. Solonshchikov P.N., Moshonkin A.M., Doronin M.S. Sovershenstvovanie mashin i oborudovaniya v proizvodstve kormov v zhivotnovodstve [Improving machinery and equipment in the production of feed in animal husbandry]. *Vestnik Nizhegorodskogo gosudarstvennogo inzhenerno-ekonomicheskogo universiteta*. 2017. N9(76). 64-76 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 12.05.2020
The paper was submitted
to the Editorial Office on 12.05.2020

Статья принята к публикации 08.06.2020
The paper was accepted
for publication on 08.06.2020

Анализ работы и совершенствование технологических линий по производству органических удобрений

Константин Николаевич Сорокин,

кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: 7623998@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Провели анализ работы технологических линий в регионах России. Аргументировали актуальность научных исследований по разработке и проектированию технологических линий с использованием модульного оборудования для производства гуминовых и комплексных удобрений. Выявили нерешенную с научной точки зрения техническую проблему – отсутствие промышленного производства специализированного оборудования для получения гуминовых удобрений, получаемых на основе глубокой переработки органического сырья. (*Цель исследования*) Определить оптимальный состав модульного оборудования с использованием цифровых технологий для проектирования промышленных технологических линий по переработке органического сырья (торфа, сапропеля, бурого угля и биогумуса) на основе технического задания заказчика и результатов работы экспериментальных технологических линий. (*Материалы и методы*) Изучили эффективность работы технологических линий на основании их технических возможностей. Исследовали практические результаты проверки зависимости качества полученной продукции от параметров и режимов работы отдельных узлов и агрегатов. Использовали общеизвестные и разработанные на их базе частные методики. (*Результаты и обсуждение*) Выявили отдельные технические и технологические отклонения в работе оборудования: низкий уровень очистки органического сырья при работе вибросепаратора – 85-90 процентов, недостаточную мощность дисмембратора – 3,5 киловатта; дисперсность удобрений после реактора превышает 140 микрон; содержание баласта после фильтрации равно 5-8 процентов; уровень гуминовых солей низкий – от 5 до 10 граммов на литр; система дозирования микроэлементов не совершенна. Предложили продолжить поиск технических решений по производству без баластных гуматов с использованием модульного оборудования. Установили необходимость увеличить производительность технологических линий с 1 до 2,5 тонн в смену. (*Выводы*) Рекомендовали с учетом практического опыта по модернизации технологических линий оптимизировать состав модульного оборудования, приобретаемого на рынке машиностроительной продукции. Определили основные принципы модульного проектирования технологических линий, позволяющие с помощью интернет-портала повышать эффективность производства и получать продукт востребованного качества.

Ключевые слова: промышленное производство гуминовых удобрений, модульное оборудование, проектирование промышленной технологической линии, торф, комплексные органические удобрения.

■ **Для цитирования:** Сорокин К.Н. Анализ работы и совершенствование технологических линий по производству органических удобрений // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №2. С. 67-76. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-67-76.

Operation Analysis and Improvement of Technological Lines for the Organic Fertilizers Production

Konstantin N. Sorokin,

Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: 7623998@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The authors conducted an analysis of technological lines operation in the Russian regions. They reasoned the relevance of scientific research on the development and design of technological lines using modular equipment for the humic and complex fertilizers production. A technical problem unresolved from a scientific point of view was revealed – the lack of industrial production of specialized equipment for humic fertilizers obtained on the basis of deep processing of organic raw materials.

(*Research purpose*) To determine the optimal composition of modular equipment using digital technologies for the design of industrial processing lines for the organic raw materials processing (peat, sapropel, brown coal and biohumus) based on the technical specifications of the customer and the results of the experimental production lines. (*Materials and methods*) The authors studied the efficiency of the technological lines based on their technical capabilities. They studied the practical results of checking the dependence of the obtained products quality on the parameters and operating modes of individual units and assemblies. They used well-known private methods developed on their basis. (*Results and discussion*) The authors revealed some technical and technological deviations in the equipment operation: low level of organic raw materials purification when the vibratory separator was 85-90 percent, insufficient power of the disassembler – 3.5 kilowatts; fertilizers dispersion after the reactor exceeded 140 micrometers; the content of the ballast after filtration – 5-8 percent; the level of humic salts was low – from 5 to 10 grams per liter; trace element dosing system was not perfect. The authors suggested continuing the search for technical solutions for production without ballast humates using modular equipment. They identified the need to increase the productivity of technological lines from 1 to 2.5 tons per shift. (*Conclusions*) Based on practical experience in modernizing production lines, the authors suggested optimizing the composition of modular equipment purchased in the market for engineering products. They determined the basic principles of the modular design of technological lines that allowed using the Internet portal to increase production efficiency and obtain a product of demanded quality.

Keywords: industrial production of humic fertilizers, modular equipment, design of an industrial technological line, peat, complex organic fertilizers.

■ **For citation:** Sorokin K.N. Analiz raboty i sovershenstvovanie tekhnologicheskikh liniy po proizvodstvu organicheskikh udobreniy [Operation analysis and improvement of technological lines for the organic fertilizers production]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N2. 67-76 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-2-67-76.

Федеральным законом от 16 июля 1998 г. № 101-ФЗ «О Государственном регулировании обеспечения плодородия земель сельскохозяйственного назначения» поставлена задача обеспечения производителей сельскохозяйственной продукции торфом и продуктами его переработки.

По запасам торфа Россия занимает лидирующую позицию. На 162,7 млн га имеется 128,7 млрд т торфа, то есть примерно 50% всех мировых запасов.

При этом одной из нерешенных с научной точки зрения технических проблем остается отсутствие в России промышленного производства специализированного оборудования для получения гуминовых удобрений, получаемых на основе глубокой переработки органического сырья.

В 2013-2014 гг. во ВНИМС разработали и изготовили технологическую линию для производства комплексных удобрений на основе гуминовых. В России и Беларуси проходит широкомасштабное промышленное испытание 10 технологических линий.

Однако для решения проблемы востребованного производства органических удобрений из торфа, бурых углей и сапропеля для сельского хозяйства необходимо организовать промышленное серийное производство технологических линий, потребность которых только для нашей страны составляет более 330 ед.

Процесс проектирования технологических линий должен отвечать требованиям химико-технологической системы, так как при ее работе осуществляется ряд последовательных операций с использованием химических реагентов и микроэлементов, а также фи-

зико-химических реакций в ходе ультразвуковых и кавитационных процессов в оборудовании.

Производители гуминовых удобрений вынуждены приспосабливать для этих целей различные виды технологического оборудования, позаимствованные из других отраслей промышленности.

Актуальность решения данной проблемы подчеркивает и анализ положения дел в животноводстве АПК России. Во всех категориях хозяйств выход навоза и помета составляет 294 млн т [1]. Однако объемы использования органических удобрений остаются крайне низкими и не достаточны даже для простого воспроизводства плодородия пахотных земель. В последнее время внесение удобрений стабилизировалось на уровне 53 млн т в год, или менее 1 т/га посевной площади, что составляет всего 10% от потребности. Насыщенность почв органическими удобрениями – примерно 6%, что негативно отражается на эффективности сельхозпроизводства.

В условиях развития органического сельского хозяйства, которое призвано поддерживать здоровье экосистем, почвы, растений, животных и человека, органические удобрения становятся все более востребованными.

В связи с этим актуальны научные исследования по разработке и проектированию технологических линий с использованием модульного оборудования для производства гуминовых и комплексных удобрений, с привлечением цифровых технологий.

Модульный принцип формирования технологических линий под решения задач создания мобильных, гибких производств по переработке органиче-

ского сырья в органические удобрения для сельского хозяйства и личных подсобных хозяйств становится актуальной научной задачей в государственных масштабах.

Цель исследования – определить оптимальный состав модульного оборудования с использованием цифровых технологий для проектирования промышленных технологических линий по переработке органического сырья (торфа, сапропеля, бурого угля и биогумуса) на основе технического задания заказчика и результатов работы экспериментальных технологических линий.

Материалы и методы. Проведены исследования эффективности технологических линий по переработке органического сырья в удобрения, работающих в регионах России. Изучены практические результаты проверки зависимости качества полученной продукции от параметров и режимов отдельных узлов и агрегатов. Выявлены основные технические и технологические недостатки в работе оборудования и совместно с заказчиком приняты меры по замене оборудования или его модернизации. Определена тенденция развития проектных работ по новым технологическим линиям на основе модульного оборудования.

При выполнении экспериментальных исследований использованы общеизвестные и разработанные на их базе частные методики. Для измерения и контроля параметров работы технологических модулей применяли современные механические и электронные приборы.

Результаты и обсуждение. Сравнительный анализ компоновочных схем различных вариантов технологических линий по переработке органического сырья, поставленных в регионы России и за рубеж в 2014-2018 гг. для промышленного производства гуминовых удобрений, показал, что экспериментальный образец технологической линии 2014-2015 гг. конструктивно, технически и технологически изменился полностью (рис. 1).

На практике проверена научная гипотеза по возможности оптимизации технических и технологических характеристик модульного оборудования для технологических линий по промышленному производству гуминовых удобрений из органического сырья в соответствии с параметрами, заданными заказчиком.

Наиболее распространенные методы извлечения гуминовых веществ, находящихся в водонерастворимом состоянии в природных гумифицированных материалах, основаны на обработке последних щелочными реагентами с целью получения водорастворимых солей – гуматов. Щелочная водная экстракция лежит в основе различных способов производства водорастворимых гуматов [2-5]. Однако остаточная щелочь в конечном продукте отрицательно влияет на

растения, снижает биологическую ценность препарата и нарушает минеральный балласт. Стали востребованными новые технологии: на основе комплексного механохимического воздействия на органическое сырье для получения водорастворимых солей из органического сырья.



Рис. 1. Экспериментальная технологическая линия по переработке торфа, 2014-2015 гг.

Fig. 1. Experimental peat processing line, 2014-2015

Исследование результатов работы технологической линии у заказчика ООО «Зовет», г. Рязань (патенты РФ № 2573358 и № 2566993, 2015 г.), выявило следующие недостатки:

- технические: отсутствие оборудования для комплексной гидромеханической очистки торфа от песка и кремниевых включений, то есть 8-10% от объема сырья попадает с суспензией торфа в реактор;

- технологические: время отстоя готового продукта после реактора перед подачей на фильтрацию достигает 72 ч; большой осадок – до 10%, что требует дополнительно производить две технологические операции – грубую и тонкую очистку готового продукта перед его подачей в накопительную емкость.

С целью устранения данных проблем предложено вместо вибросепаратора изготовить гидромеханический модуль для комплексной очистки суспензии торфа от песка и мелких фракций. Дополнительно можно технически решить вопросы подогрева воды до 60-70°C для активации суспензии торфа с установкой подогревателя мощностью 42 кВт.

Имеются конструктивные расчеты и результаты работы гидромеханического модуля [6]. С научной точки зрения важно, что в процессе подготовки суспензии в емкости гидромеханического модуля торфоподготовки каждая частица торфа подвергается комплексному, многофакторному разрушительному воздействию сил, имеющих разные величины и направления. Причем величины, направления этих сил, а также количество частиц, соударяющихся между собой, поверхностью емкости и рабочих органов, изменяется по мере прохождения процесса измельчения в сторону увеличения. Следовательно, в емкости узла возникает броуновское движение, вследствие чего каждая частица проходит через все этапы измельчения, начиная от образования трещин и заканчивая

получением частиц с размерами, необходимыми для подачи суспензии в дисмембратор (рис. 2).

Требования к максимальным размерам частиц в суспензии торфа устанавливают в зависимости от технической характеристики и параметров рабочих органов дисмембратора.

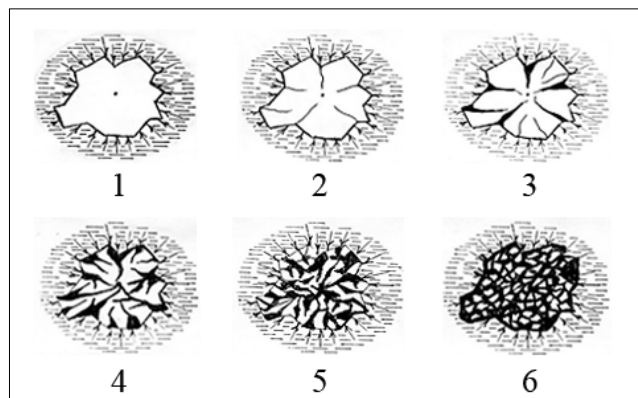


Рис. 2. Этапы предварительного разрушения частицы торфа: 1 – частица до начала обработки; 2 – появление трещин под воздействием процессов гидратации и кавитации; 3 – увеличение размеров трещин; 4 – разрушение твердых частиц на отдельные части; 5 – уменьшение размеров частиц торфа; 6 – доведение размеров частиц до необходимой величины перед подачей в дисмембратор

Fig. 2. The stages of peat particles preliminary destruction: 1 – particle before treatment; 2 – the appearance of cracks under the influence of hydration and cavitation; 3 – cracks size increase; 4 – destruction of solid particles into separate parts; 5 – peat particle size reduction; 6 – adjusting the particle size to the required size before it's delivery to the dismembrator

Эти размеры частиц не подлежат теоретическому расчету. Их определяют только экспериментальным путем. При обоснованных параметрах гидромеханического модуля проводят опыты с различной продолжительностью разрушения поверхностного слоя твердых частиц торфа до средних размеров 200-250 мкм, чтобы облегчить работу дисмембратора, и устанавливают время, необходимое для достижения нужной дисперсности суспензии. Если время обработки суспензии в емкости больше, чем необходимо для обеспечения заданной производительности всей технологической линии, то корректируют режимы работы узла подготовки торфа.

Исследование результатов работы технологической линии у заказчика ООО «Сервис Агро», Республика Татарстан, показало:

- технически и технологически необходимо модернизировать систему дозирования микроэлементов при производстве комплексных удобрений на основе органики под объемы в 5-6 раз больше имеющейся производительности (2 т в смену), в соответствии со спросом на рынке органических удобрений;
- при проектировании новых технологических ли-

ний заказчиком предложено увеличить их производительность с 2 до 10 т концентрированных органических удобрений в одну рабочую смену. При научно-технической поддержке заказчик на основе модульного оборудования, приобретенного у машиностроительных предприятий, собрал новую технологическую линию, производительность которой отвечает промышленным объемам. Научные материалы по совместному опыту находятся в работе.

Совместно с учеными Рязанского института технического обеспечения сельского хозяйства – филиала ФНАЦ ВИМ модернизирована система дозирования микроэлементов под большие объемы [7, 8]. Процесс обогащения гуминовых препаратов необходимыми микроэлементами осуществляется методом дозирования с помощью программно-технического комплекса, установленного на технологической линии (рис. 3). Используются программы: *Modbus Universal Master OPC Server* и *MasterSCADA*. Программа *Modbus Universal Master OPC Server* осуществляет через прибор AC4 широтноимпульсную связь с приборами нижнего уровня и OPC-клиентами верхнего уровня, такими как *MasterSCADA*. Программа *MasterSCADA* осуществляет управление и контроль типовым технологическим объектом (насосом, задвижкой, реактором, фильтром и т.п.).

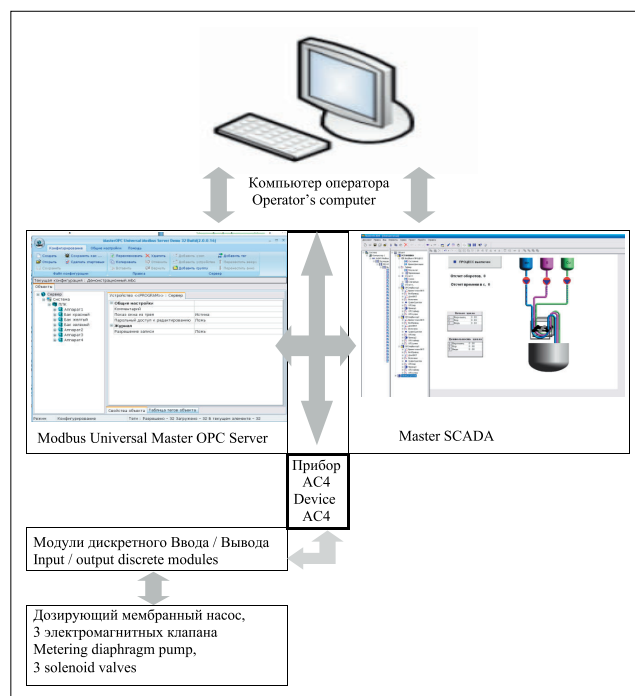


Рис. 3. Комплекс программно-технических устройств дозирования

Fig. 3. A set of software and hardware dispensing devices

Расчет доз микроэлементов основан на многолетних опытных данных научных учреждений, изучающих влияние микроэлементов почвы, внесенных микроудобрений, органических удобрений на урожай-

Таблица АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОПЫТОВ (ФРАГМЕНТ) AGROCHEMICAL INDICATORS OF THE EXPERIMENTS (FRAGMENT)									
Почва Soil	Культура Culture	Урожайность, ц/га Productivity, kg/ha	Содержание в почве, мг/кг Soil content, mg/kg			Внесено навоза, т Manure applied, t	Уровень внесения микроудобрений, кг д.в./га Micronutrient application rate, kg a.v. / ha		
			бор boron	медь copper	марганец manganese		марганец manganese	бор boron	медь copper
Дерново-подзолистая, суглинистая Sod-podzolic, loam	ячмень barley	Y	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}
		15	0,35	1,50	40,0	0	0,110	0,006	0,016
		20	0,41	1,87	47,5	0	0,146	0,008	0,021
		25	0,45	2,25	55,0	0	0,183	0,010	0,026
		30	0,53	2,62	62,5	0	0,219	0,012	0,031
		35	0,60	3,00	70,0	0	0,256	0,014	0,036

ность основных сельскохозяйственных культур Центрального региона России (таблица).

Алгоритм расчета доз микроэлементов представлен в научных материалах [7, 8]. На его основе разработан программный комплекс расчета доз микроэлементов для основных сельхозкультур и почв Центрального региона РФ, который рекомендован заказчикам для модернизации ранее установленных систем дозирования.

Исследование результатов работы технологической линии у заказчика ООО «НПЦ Биотехнологии», г. Оренбург, на переработке бурых углей показало:

- технологическая линия запущена в производство, замечаний по оборудованию и технологии нет;
- все запросы покупателей на удобрения закрываются, это 3-5 т концентрата в месяц. По мнению заказчика, в области плохо занимаются внедрением новых агротехнологий на основе органических удобрений.

Изучение технологической линии у заказчика ООО «НВПП Агротехнологии» г. Оренбург на переработке бурых углей выявило:

- технически и технологически не решены вопросы предварительной подготовки бурого угля: его просеивание и измельчение до размерности от 50 до 100 мкм перед подачей в реактор для смешивания с водой и щелочью;
- рекомендовано использовать опыт ООО «Богровский ГОК», г. Черногорск Республики Хакасия, где технологическая линия усилена модульным оборудованием: вибрационной мельницей типа МВ-20 для размолота бурого угля перед подачей в реактор до размерности 20-50 мкм и механохимической активации угольного вещества, что позволило в 2 раза снизить балластные остатки перед фильтрацией гуматов;
- проведена замена дисмембратора мощностью 3,5 кВт на 5,5 кВт новой конструкции, разработанной автором совместно с учеными ВНИМС (патент РФ № 171086, 2017 г.);

- технически решена проблема производства гуминовых удобрений с дисперсностью 70-100 мкм и ниже, что соответствует технологическим требованиям сельскохозяйственных машин по внесению удобрений в растениеводство.

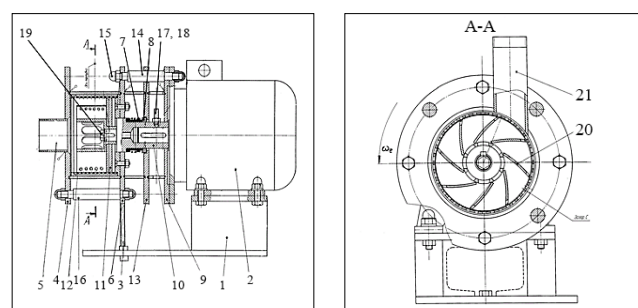


Рис. 4. Общая схема дисмембратора: 1 – площадка крепления; 2 – двигатель; 3 – опорная шпилька; 4 – корпус; 5 – всасывающий патрубок; 6, 9 – проставки; 7 – муфта торцевая; 8 – торцевое уплотнение, кольцо керамическое; 10 – вал-втулка; 11 – крыльчатка; 12 – статор; 13 – фланец; 14 – шпилька; 15 – колпачковая гайка; 16 – шпилька; 17 – винт; 18 – контргайка; 19 – болт; 20 – лопасть крыльчатки; 21 – выходной патрубок

Fig. 4. The general scheme of the dismembrator: 1 – mounting pad; 2 – engine; 3 – supporting pin; 4 – case; 5 – suction pipe; 6, 9 – spacers; 7 – end coupling; 8 – mechanical seal, ceramic ring; 10 – shaft sleeve; 11 – impeller; 12 – stator; 13 – a flange; 14 – pin; 15 – cap nut; 16 – pin; 17 – screw; 18 – lock-nut; 19 – a bolt; 20 – impeller blade; 21 – outlet pipe

В состав технологической линии по переработке бурого угля включен дисмембратор новой конструкции (рис. 4). Это дало возможность сократить на 30 мин время производственного цикла, увеличить производительность линии, повысить качество продукта, а именно, увеличить выход гуминовых и фульвокислот на 20% и более в зависимости от качества сырья, поступающего на переработку. Размерность частиц готового продукта не превышает 70-100 мкм, что позволяет эффективно использовать его в машинных

технологиях по внесению жидких удобрений.

Чтобы извлечь из угля больше гуминовых кислот, предложено при модернизации технологической линии на трубопроводе между дисмембратором и реактором установить гидромеханический кавитатор (разработка автора, *патент РФ № 161518, 2016 г.*).

В гидродинамических кавитаторах в основном реализуется гидродинамическое и акустическое воздействие в жидкости вследствие развитой турбулентности, пульсаций давления и скорости потока жидкости, интенсивной кавитации, ударных волн и вторичных нелинейных акустических эффектов [9-11]. Кавитационное воздействие служит эффективным средством для получения водо-угольных суспензий.

Кавитация разрывает длинные молекулярные цепи, разрушая связи между отдельными частями молекул, влияет на изменение структурной вязкости, то есть на временный разрыв ван-дер-ваальсовых связей.

Например, кавитационная обработка воды изменяет ее физико-химические свойства, увеличивает *pH*, способствует активации. В результате вода временно становится активным растворителем труднорастворимых веществ даже без введения химических реагентов.

В данном исследовании генераторы кавитации (дисмембратор и гидромеханический кавитатор) работают на различных частотах. Жидкость проходит через них последовательно: сначала через генератор с большей частотой, то есть дисмембратор, а затем через генератор с меньшей частотой, то есть гидромеханический кавитатор. В генераторе с высокой частотой возбуждаются зародыши кавитации наименьшего размера, которые быстро увеличиваются. Эти кавитационные пузырьки служат зародышами кавитации в генераторе с низкой частотой и увеличиваются в размере еще больше. В результате возрастают импульсы кавитационного давления.

Кавитационное воздействие на жидкость позволяет получать высококачественные технологические, и биологически активные растворы экстрактов, эмульсии и суспензии [12-14, 15].

С целью многофакторного воздействия на твердые частицы в суспензии бурого угля и ее активной гомонезации перед подачей жидких гуминовых удобрений из реактора в центрифуги на фильтрацию предложено установить на трубопроводе между диспергатором и центрифугой бициркуляционный диффузионный измельчитель (*патент РФ № 177365, 2018 г.*). В итоге достигаются высокий уровень гомонезации взвешенных частиц бурого угля с дисперсностью от 0 мкм перед подачей на фильтрацию или в центрифуги и качественная очистка гуминовых препаратов от баласта.

Эффективность технологической линии по переработке бурых углей у заказчика ООО «Боградский ГОК», г. Черногорск Республики Хакасия, улучшена

благодаря следующим решениям:

- линия усилена модульным оборудованием – вибрационной мельницей типа МВ-20 для размолота бурого угля перед подачей в реактор до размерности 20-50 мкм и механохимической активации угольного вещества, что позволило проводить качественную фильтрацию гуматов размерностью до 70 мкм вместо 140 мкм;

- заменен дисмембратор мощностью 3 кВт на 5,5 кВт;

- в целях исключения балластного остатка после реактора жидкие гуминовые удобрения перекачиваются в дополнительно установленные емкости, где отстаиваются в течение 3 суток и без балласта подаются на фильтрацию;

- для расширения ассортимента продукции гуминовые удобрения после фильтрации подаются в две дополнительно установленные центрифуги – для сушки, выпаривания с использованием влагоотделителя и получения сухих гуматов с добавлением в них микроэлементов;

- дополнительно установлен гранулятор на фракции до 3 мм;

- заменена накопительная емкость для конечного продукта – с 1000 л на 3500 л.

Модернизация технологической линии на основе модульного оборудования позволила организовать производство новых продуктов – углещелочного и гуматнокалиевого реагентов, предназначенных для бурения нефтяных и газовых скважин на основе естественно окисленных, забалансовых углей марки 2Б Боровско-Соболевского месторождения (АО «Чулым-Уголь»).

Результаты исследования работы технологической линии по переработке торфа у заказчика ООО «Промимпекс», г. Екатеринбург, показали:

- на дисмембраторе регулярно через 3-4 мес. выходит из строя торцевое уплотнение, причина – недостаточно качественная очистка торфяной суспензии от песка и мелких включений в гидромеханическом модуле по подготовке торфяной суспензии перед подачей в реактор, что подтверждено наличием большого количества песка в конусе реактора;

- выявлена и устранена причина некачественной очистки торфяной суспензии от песка и перегрева электродвигателя основного насоса в гидромеханическом модуле, где не работала заблокированная крыльчатка на основном валу электродвигателя;

- рекомендовано установить дополнительно между дисмембратором и реактором бициркуляционный диффузионный измельчитель (*патент РФ № 177365, 2018 г.*);

- технически и технологически требуется изменить угол наклона вертикального сливного патрубка реактора из нижней части конуса, так как он переживает сливной шланг;

- в целях соблюдения требований техники без-

опасности необходимо исключить контакт основного блока управления с технологическими шлангами подачи воды и суспензии.

Технологическая линия у заказчика ООО «Биохимресурс», г. Владимир, не обеспечена помещением для работы при пониженных температурах, отсутствует возможность подогревать воду для технологических целей, идут пусконаладочные работы.

В ООО «Гуматы», г. Курган, исследование технологической линии по переработке торфа выявило:

- низкий уровень выхода гуминовых веществ – 2-10 г/л по технологической причине: не отрегулирована работа системы подготовки и очистки торфа перед подачей в реактор;
- требует замены дисмембратора, который пропускает твердые частицы торфа размером более 140 мкм и не обеспечивает качества диспергации подаваемой с гидромеханического модуля суспензии торфа, то есть 50-70 мкм;
- система дозирования микроэлементов по программе ЭВМ отрегулирована в соответствии с рекомендациями специалистов института [6];
- причины отмеченных недостатков работы оборудования на технологической линии – частая смена операторов и их низкая квалификация.

После изучения работы технологической линии по переработке торфа в ООО «АгроБио», г. Борисов Республики Беларусь, отмечено:

- гидромеханический очиститель торфа технологически не отрегулирован и пропускает в реактор до 5% кремниевых включений в суспензии торфа, выданы необходимые рекомендации [7];
- поступающие в реактор 5 кг песка на 100 кг торфа сократили срок эксплуатации сетки статора у дисмембратора, которая порвалась;
- качественная фильтрация суспензии торфа после реактора обеспечивается в результате ее отстоя в дополнительно установленных технологических емкостях в течение 72 ч перед подачей на станцию фильтрации.

В ОАПОУ «Боровичский агропромышленный техникум», г. Боровичи Новгородской области, технологическая линия по переработке торфа активно используется при производстве гуминовых удобрений для питомников лесного хозяйства и в учебных целях, технически исправна, запасы готовой продукции – 4 т.

В ООО НПФ «Сады Чечни», г. Грозный, технологическую линию модернизируют в целях использования гуминовых удобрений с дополнением микроэлементов для капельного полива в садах.

Анализ работы технологических линий совместно с заказчиками в разных регионах в течение 5 лет позволил выявить и систематизировать основные технические и технологические недоработки, внедрить ряд новых технических решений, защищенных па-

тентами и свидетельствами. Исследованы теоретические основы и необходимые условия развития машиностроения для модульного проектирования технологических комплексов [16].

В соответствии с научной гипотезой экспериментально проверена работоспособность модульного оборудования в составе работающих в регионах технологических линий по переработке в промышленных объемах органического сырья в гуминовые удобрения с характеристиками, заданными заказчиком.

Выявлено, что научно-технологические возможности промышленности в секторе машиностроения по выпуску оборудования для переработки органического сырья не согласуются с динамикой рынка, что и приводит к необходимости совершенствования процесса конструирования и разработки оборудования на принципах модульного построения технологических линий.

При проектировании новых технологических линий по переработке органического сырья, в соответствии с требованием заказчика и результатами модернизации работающих линий, определены основные модули, что позволило разработать конструктивную схему универсальной технологической линии на основе модульного оборудования (рис. 5).

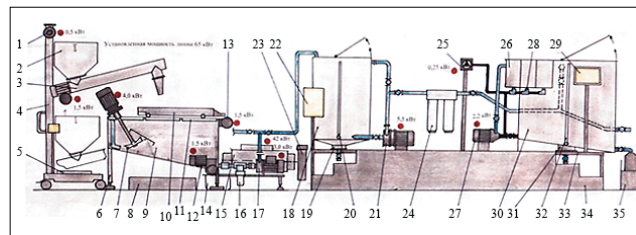


Рис. 5. Новая технологическая линия на основе модульного оборудования

- 1-5 – модуль весового дозирования транспортировки и подачи сырья;
 6-17 – модуль узла гидромеханической торфоподготовки;
 18-22 – модуль реактора;
 23-24 – модуль фильтрации;
 25-29 – модуль внесения и смешивания минеральных добавок;
 30-32 – модуль программного дозирования;
 33-35 – модуль накопительной емкости
- Fig. 5. New production line based on modular equipment
 1-5 – module of weight dosing of raw materials transportation and supply;
 6-17 – module node hydromechanical peat preparation;
 18-22 – reactor module;
 23-24 – filtering module;
 25-29 – module for making and mixing mineral additives;
 30-32 – software dosing module;
 33-35 – storage capacity module

Инновационная составляющая данной конструкции заключается в ее универсальности: отдельные модули можно заменять с учетом потребности заказ-

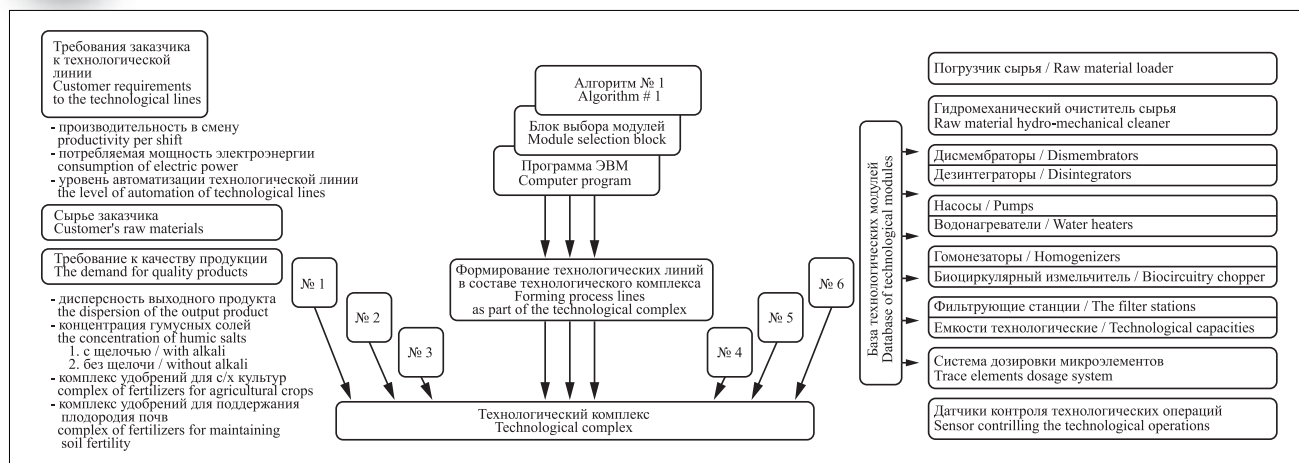


Рис. 6. Схема алгоритма по формированию технологических линий на основе модулей

(№ 1-6 – возможности в проектировании технологических линий с целью изготовления гуминовых препаратов под заказ)

Fig. 6. The algorithm scheme for the technological lines formation based on modules

(No. 1-6 – opportunities in the technological lines design for the purpose of manufacturing humic preparations on order)

чика, без потери качества конечного продукта. Определены основные технологические потоки по переработке органического сырья в жидкие и сухие гуминовые препараты.

Конструктивные и технологические возможности модульного оборудования позволяют в короткие сроки организовать производство технологических линий по промышленной переработке органического сырья (сапропеля, бурого угля, биогумуса).

Используя принцип реконфигурации компоновки технологических линий модульной конструкции, созданных автором совместно с учеными ВНИМС и ИТОСХ – филиала ФНАЦ ВИМ в 2013-2019 гг., а также анализ предлагаемых к реализации производителями подобных линий, которые подходят для меняющихся требований производства, можно сформулировать основные принципы концепции создания таких технологических линий и начать их производство.

Принципы модульного построения технологических линий:

- применение базовых модулей, в которых реализуются технологические операции, гарантирующие востребованное качество конечного продукта;
- технологическая линия (технологический комплекс) может использоваться для переработки различного органического сырья (торфа, сапропеля, бурого угля и биогумуса) с необходимыми изменениями технологических операций в зависимости от вида сырья и конечной продукции;
- включение как основных, так и вспомогательных технологических модулей для переработки сырья с целью получения конечного продукта – гуминовых и комплексных удобрений с заданными характеристиками;
- управление модулями с помощью технологических программных материалов и цифровых технологий.

Модульный принцип формирования технологи-

ческих линий предусматривает:

- требование заказчика;
- наличие программных материалов по базе технологических модулей и управлению технологическими операциями;
- разработку алгоритма для программы ЭВМ по формированию технологических линий на основе модулей в составе технологического комплекса (рис. 6);
- разработку программы ЭВМ для технологической линии по производству комплексных удобрений на основе органического сырья.

Таким образом, модульное проектирование сокращает сроки разработки нового оборудования, когда есть возможность его приобретения на рынке у специализированной организации, позволяет быстрее формировать технологические линии под выпуск новой продукции.

Научная новизна данной работы заключается в создании информационно-программного обеспечения для специалистов по конструированию технологических комплексов для переработки органического сырья на основе многовариантных решений по формированию оптимального комплекса из имеющегося на рынке оборудования.

Практическая значимость состоит в обеспечении специалистов программным инструментарием на ЭВМ по эффективному формированию комплекса технологическим оборудованием из «магазина модулей», имеющегося на рынке машиностроительной продукции. Разработаны алгоритм программы ЭВМ и методические рекомендации. Методика проходит экспериментальную проверку.

Выводы

1. В соответствии с научной гипотезой экспериментально на практике проверена работоспособность модульного оборудования в составе модернизированных и работающих в регионах технологических ли-

ний по переработке в промышленных объемах органического сырья в гуминовые удобрения, с заданными заказчиком характеристиками.

2. Технические и технологические недоработки в оборудовании устранены совместно с заказчиком благодаря использованию инновационных разработок автора и специалистов ВНИМС и ИТОСХ – филиала ФНАЦ ВИМ и приобретению модульного оборудования.

3. Производительность технологических линий повышена в 2-2,5 раза – с 1 до 2,5 т концентрированных удобрений в смену; качество очистки органического сырья перед подачей в реактор достигло 97-98%; дисперсность суспензии торфа и бурого угля в результате замены дисмембраторов мощностью 3,5 кВт на 5,5 кВт составляет в среднем 50-70 мкм при норме до 140 мкм; с помощью модульного оборудования решены вопросы безбалластного производства гуминовых удобрений; усовершенствована программа ЭВМ по дозированию микроэлементов.

4. Выявлены основные принципы модульного проектирования технологических линий по производству органических (гуминовых и комплексных) удобрений с заданными характеристиками.

5. Разработана методика выбора модулей с использованием интернет-портала при конструировании технологических линий по переработке органического сырья на основании алгоритма работы программы ЭВМ.

6. Определен оптимальный состав модульного оборудования с использованием цифровых технологий и разработана схема построения инновационного технологического процесса и создания технологической линии по переработке бурых углей на основе модульного оборудования в соответствии с техническим заданием заказчика и результатами работы экспериментальных образцов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Перминова И.В. Гуминовые вещества – вызов химикам XXI века // *Химия и жизнь*. 2008. №1. С. 51-55.
2. Роганов В.Р., Касимова Л.В., Тельянова А.В., Елисева И.В. Исследование способов извлечения из низинного торфа гуминовых препаратов // *Современные проблемы науки и образования*. 2014. №6.
3. Hanc A., Boucek J., Svehla P., Dreslova M., Tlustos P. Properties of vermicompost aqueous extracts prepared under different conditions. *Environmental Technology*. 2017. Vol. 38. 1428-1434.
4. Kholodov V.A., Yaroslavl'tseva N.V., Konstantinov A.I., Perminova I.V. Preparative Yield and Properties of Hemic Acids Obtained by Sequential Alkaline Extractions. *Eurasian Soil Science*. 2015. Vol. 48. №10. 1101-1109.
5. Rocha J.C., Rosa A.H., Furlan M. An alternative methodology for the extraction of hemic substances from organic soils. *Journal Braz. Chem. Soc.* 1998. Vol. 9. №1. 51-56.
6. Сорокин К.Н., Гайбарян М.А., Сорокин Н.Т., Гапеева Н.Н., Сидоркин В.И. Расчет параметров гидромеханического узла торфоподготовки технологической линии для производства гуминовых удобрений // *Техника и оборудование для села*. 2018. №9. С. 16-21.
7. Сорокин К.Н., Белых С.А., Никитин В.С., Измайлов А.Ю., Сорокин Н.Т., Благов Д.А. Цифровые технологии в производстве комплексных органоминеральных удобрений // *Вестник Башкирского ГАУ*. 2018. №3. С. 31-40.
8. Никитин В.С. Формирование алгоритма расчета доз комплексных удобрений на основе гуминовых под планируемую урожайность // *Техника и оборудование для села*. 2016. №5. С. 20-23.
9. Промтов М.А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика. М.: Машиностроение-1. 2001. 260 с.
10. Балабышко А.М., Зимин А.И., Ружицкий В.П. Гидромеханическое диспергирование. М.: Наука. 1998. 330 с.
11. Балабышко А.М., Юдаев В.Ф. Роторные аппараты с модуляцией потока и их применение в промышленности. М.: Недра. 1992. 176 с.
12. Кардашев Г.А. Физические методы интенсификации процессов химической технологии. М.: Химия. 1990. 208 с.
13. Федоткин И.М., Немчин А.Ф. Использование кавитации в технологических процессах. Киев: Вища школа. 1984. 68 с.
14. Федоткин И.М., Гулый И.С. Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промышленности. Ч. II. Киев: ОКО. 2000. 898 с.
15. Витенько Т.Н., Гумницкий Я.М. Массообмен при растворении твердых тел с использованием гидродинамических кавитационных устройств // *Теоретические основы химической технологии*. 2006. Т. 40. №6. С. 639-644.
16. Сорокин К.Н., Измайлов А.Ю., Сорокин Н.Т., Журавлева О.И., Ручьев И.Ю. Теоретические основы и необходимые условия развития машиностроения для модульного проектирования технологических комплексов // *Вестник Рязанского ГАУ*. 2019. №3. С. 89-98.

REFERENCES

1. Perminova I.V. Guminovye veshchestva – vyzov khimikam XXI veka [Humic substances – a challenge to chemists of the XXI century]. *Khimiya i zhizn'*. 2008. N1. 51-55 (In Russian).
2. Roganov V.R., Kasimova L.V., Tel'yanova A.V., Eliseeva I.V. Issledovanie sposobov izvlecheniya iz nizinnogo torfa guminovykh preparatov [Study of methods for extracting humic preparations from lowland peat]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014. N6. (In Russian).
3. Hanc A., Boucek J., Svehla P., Dreslova M., Tlustos P. Properties of vermicompost aqueous extracts prepared under different conditions. *Environmental Technology*. 2017. Vol. 38. 1428-1434 (In English).
4. Kholodov V.A., Yaroslavtseva N.V., Konstantinov A.I., Perminova I.V. Preparative Yield and Properties of Hemic Acids Obtained by Sequential Alkaline Extractions. *Eurasian Soil Science*. 2015. Vol. 48. N10. 1101-1109 (In English).
5. Rocha J.C., Rosa A.H., Furlan M. An alternative methodology for the extraction of hemic substances from organic soils. *Journal Braz. Chem. Soc.* 1998. Vol. 9. N1. 51-56 (In English).
6. Sorokin K.N., Gaybaryan M.A., Sorokin N.T., Gapeeva N.N., Sidorkin V.I. Raschet parametrov gidromekhanicheskogo uzla torfopodgotovki tekhnologicheskoy linii dlya proizvodstva guminovykh udobreniy [Calculation of the parameters of the hydromechanical unit of peat preparation of the technological line for the production of humic fertilizers]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2018. N9. 16-21 (In Russian).
7. Sorokin K.N., Belykh S.A., Nikitin V.S., Izmaylov A.Yu., Sorokin N.T., Blagov D.A. Tsifrovye tekhnologii v proizvodstve kompleksnykh organomineral'nykh udobreniy [Digital technologies in the production of complex organic fertilizers]. *Vestnik Bashkirskogo GAU*. 2018. N3. 31-40 (In Russian).
8. Nikitin V.S. Formirovanie algoritma rascheta doz kompleksnykh udobreniy na osnove guminovykh pod planiruemuyu urozhaynost' [Formation of an algorithm for calculating doses of complex fertilizers based on humic for the planned yield]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2016. N5. 20-23 (In Russian).
9. Promtov M.A. Pul'satsionnye apparaty rotnogo tipa: teoriya i praktika [Rotary-type pulsation apparatus: theory and practice]. Moscow: Mashinostroenie-1. 2001. 260 (In Russian).
10. Balabyshko A.M., Zimin A.I., Ruzhitskiy V.P. Gidromekhanicheskoe dispergirovanie [Hydromechanical dispersion]. Moscow: Nauka. 1998. 330 (In Russian).
11. Balabyshko A.M., Yudaev V.F. Rotornye apparaty s modulyatsiyey potoka i ikh primeneniye v promyshlennosti [Flow modulating rotary apparatus and their application in industry]. Moscow: Nedra. 1992. 176 (In Russian).
12. Kardashev G.A. Fizicheskie metody intensivifikatsii protsessov khimicheskoy tekhnologii [Physical methods of intensification of chemical technology processes]. Moscow: Khimiya. 1990. 208 (In Russian).
13. Fedotkin I.M., Nemchin A.F. Ispol'zovanie kavitatsii v tekhnologicheskikh protsessakh [The use of cavitation in technological processes]. Kiev: Vishcha shkola. 1984. 68 (In Russian).
14. Fedotkin I.M., Gulyy I.S. Kavitatsiya, kavitatsionnaya tekhnika i tekhnologiya, ikh ispol'zovanie v promyshlennosti [Cavitation, cavitation equipment and technology, their use in industry]. Ch. II. Kiev: OKO. 2000. 898 (In Russian).
15. Viten'ko T.N., Gumnitskiy Ya.M. Massoobmen pri rastvorenii tverdykh tel s ispol'zovaniem gidrodinamicheskikh kavitatsionnykh ustroystv [Mass transfer during dissolution of solids using hydrodynamic cavitation devices]. *Teoreticheskie osnovy khimicheskoy tekhnologii*. 2006. Vol. 40. N6. 639-644 (In Russian).
16. Sorokin K.N., Izmaylov A.Yu., Sorokin N.T., Zhuravleva O.I., Ruch'ev I.Yu. Teoreticheskie osnovy i neobkhodimyye usloviya razvitiya mashinostroeniya dlya modul'nogo proektirovaniya tekhnologicheskikh kompleksov [Theoretical foundations and necessary conditions for the development of engineering for the modular design of technological complexes]. *Vestnik Ryazanskogo GAU*. 2019. N3. 89-98 (In Russian).

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 18.03.2020
The paper was submitted
to the Editorial Office on 18.03.2020

Статья принята к публикации 22.05.2020
The paper was accepted
for publication on 22.05.2020

НОВЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Журнал «Сельскохозяйственные машины и технологии» входит в Перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ для публикации трудов соискателей ученых степеней кандидата и доктора наук.

Журнал включен в систему Российского индекса цитирования и в Международную информационную систему по сельскому хозяйству *AGRIS*. Электронные версии журнала размещаются на сайте Российской универсальной научной электронной библиотеки.

Статьи, направляемые в журнал для публикации, должны соответствовать основной тематике журнала.

Статьи, поступившие в редакцию, проходят двойное слепое рецензирование. Отрицательная рецензия является основанием для отказа в публикации.

Редакция принимает рукописи и электронные версии статей, набранные в Word шрифтом 14 пт. через 1,5 интервала, не более 12 страниц.

Приведенные в статье формулы должны иметь пояснения и расшифровку всех входящих в них величин с указанием единиц измерения в СИ. Графические материалы должны быть приложены в виде отдельных файлов: фотографии – *jpg* или *tif* с разрешением *300 dpi*, графики, диаграммы – в *eps* или *ai*. Все графические материалы, рисунки и фотографии должны быть пронумерованы, подписаны и иметь ссылку в тексте.

Простые внутривстрочные и однострочные формулы должны быть набраны символами в редакторе формул *Microsoft Word* без использования специальных редакторов. Не допускается набор: часть формулы символами, а часть в редакторе формул. Если формулы заимствованы из других источников, то не следует приводить в них подробных выводов: авторы формул это уже сделали, повторять их не следует. Ссылки на обозначения формул обязательны. Статья должна содержать не более 10 формул, 3-4 иллюстрации, 3-4 таблицы, размер таблиц не более 1/2 страницы.

В каждой статье должны быть указаны следующие данные:

- название статьи;
- фамилия, имя и отчество автора (ов);
- e-mail автора, контактный телефон;
- место работы автора(ов) (аббревиатуры не допускаются), почтовый адрес;

- ученая степень, ученое звание автора;
- реферат (объем 200-250 слов);
- ключевые слова;
- библиографический список.

Статью следует структурировать, обязательно указав следующие разделы:

- Введение (актуальность);
- Цель исследований;
- Материалы и методы;
- Результаты и обсуждение;
- Выводы.

Списки литературы (до 10 источников за последние 5 лет) следует оформлять по ГОСТ Р 7.05-2008.

Реферат

Реферат – это самостоятельный законченный материал. Вводная часть минимальна. Нужно коротко и емко отразить актуальность и цель исследований, условия и схемы экспериментов, привести полученные результаты (с обязательным аргументированием на основании цифрового материала), сформулировать выводы.

Объем реферата – 200-250 слов.

Нельзя использовать аббревиатуры и сложные элементы форматирования (например, верхние и нижние индексы).

На английский язык следует перевести:

- название статьи;
- фамилию, имя, отчество;
- должность, место работы автора (ов);
- реферат и ключевые слова;
- библиографические источники.

Машинный перевод недопустим!

Рукопись статьи должна быть подписана лично авторами.

Автор несет юридическую и иную ответственность за содержание статьи.

Несоответствие статьи хотя бы одному из перечисленных условий может служить основанием для отказа в публикации.

ПОДПИСКА 2021

КАК
подписаться
на журнал?



ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

Подписку на первое полугодие 2021 г. можно оформить
до 20 декабря включительно
в почтовых отделениях связи
по каталогу агентства «РОСПЕЧАТЬ», индекс 35825,
а также в редакции журнала

ЖУРНАЛ
«СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ МАШИНЫ И ТЕХНОЛОГИИ»
ВКЛЮЧЕН В ПЕРЕЧЕНЬ ВАК

Редакция журнала:

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

www.vimsmi.com

e-mail: smit@vim.ru