

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

Сельскохозяйственные МАШИНЫ и ТЕХНОЛОГИИ

AGRICULTURAL MACHINERY AND TECHNOLOGIES

Том 13 N1 2019

Vol. 13 N1 2019

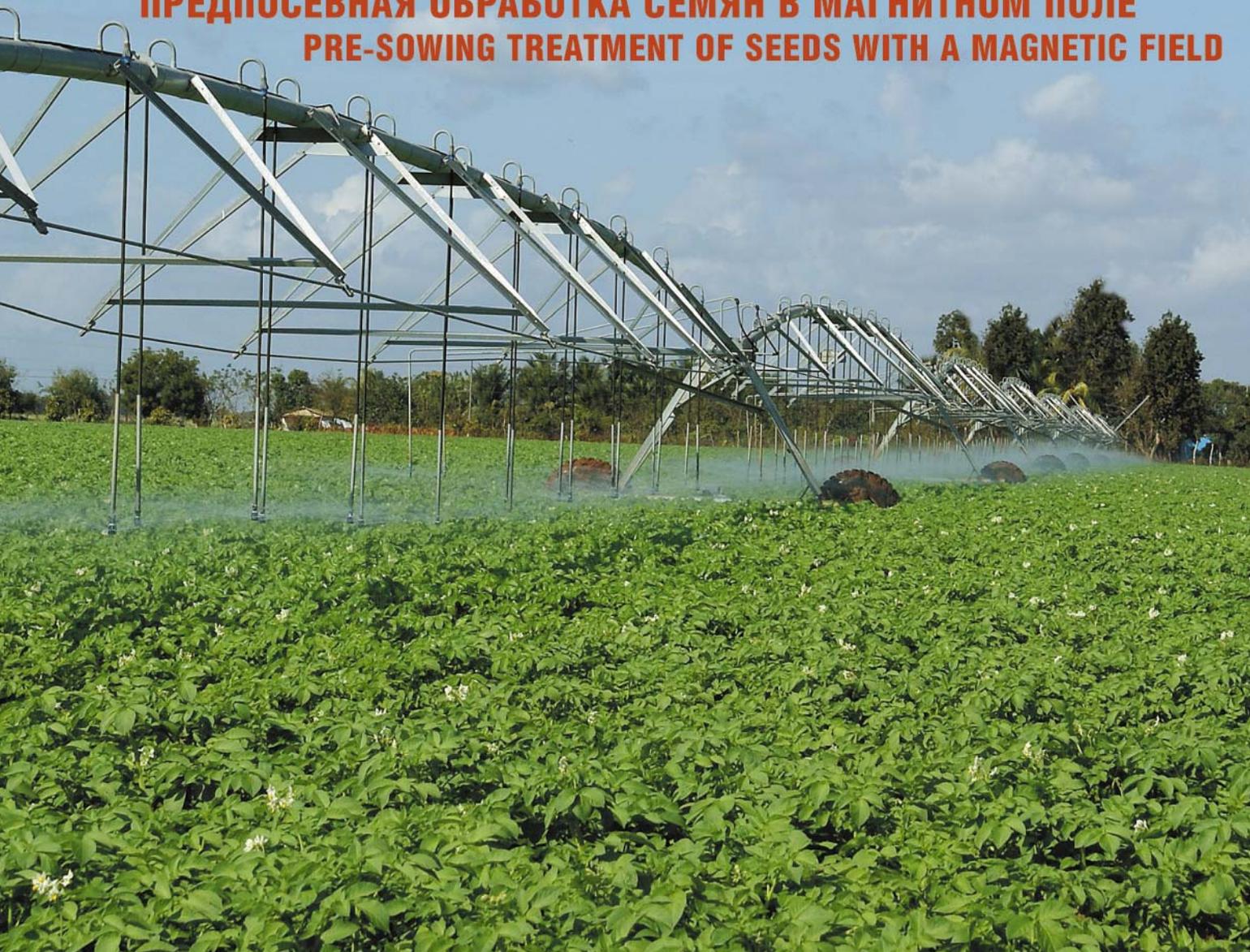
НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

SCIENTIFIC-THEORETICAL JOURNAL

3D-СКАНИРОВАНИЕ В ТЕХНОЛОГИЯХ РЕМОНТА
3D SCANNING IN REPAIR TECHNOLOGIES

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
DIGITIZATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

ПРЕПОСЕВНАЯ ОБРАБОТКА СЕМЯН В МАГНИТНОМ ПОЛЕ
PRE-SOWING TREATMENT OF SEEDS WITH A MAGNETIC FIELD





ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
ЦЕНТР



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 Российский индекс
научного цитирования (РИНЦ)

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

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

НАД НОМЕРОМ РАБОТАЛИ:
В.В. Бижаев,
Л.А. Горелова,
С.В. Гришуткина,
Р.М. Нурбагандова

Перевод – Алексей Алипичев

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

<http://www.vimsmit.com>
e-mail: smit@vim.ru

© ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2019

Отпечатано в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
Формат 205 x 290 мм
Подписано в печать 15.02.2019
Тираж 500 экз.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Андрей Юрьевич Измайлов

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Виктор Валентинович Альт

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

Христо Иванов Белоев

доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Болгарской академии наук, Русенский университет, 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, Российская Федерация

Юрий Анатольевич Иванов

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик Российской академии наук, директор Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства, г. Подольск, Российская Федерация

Йошисукэ Кишида

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

Иван Михайлович Куликов

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

Юрий Федорович Лачуга

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

Яков Петрович Лобачевский

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

Антонин Махалек

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

Тадеуш Павловски

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

Владимир Дмитриевич Попов

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

Жарылкасын Сарсембекович Садыков

доктор технических наук, профессор, директор Научно-исследовательского института агроинженерных проблем 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
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 –
Aleksei Alipichev

EDITORIAL OFFICE'S ADDRESS

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

<http://www.vimsmit.com>
e-mail: smit@vim.ru

Printed by FSAC VIM
Russian Academy of Science

The format is 205 × 290 mm
The issue was submitted 15.02.2019
The circulation is 500 copies

[SEL'SKOKHOZYAYSTVENNYE MASHINY I TEKHNologii]

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

EDITOR-IN-CHIEF

Andrey Yu. Izmaylov

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

EDITORIAL BOARD

Viktor V. Al't

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

Khristo I. Beloev

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

Mikhail N. Erokhin

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

Yuriy A. Ivanov

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

Yoshisuke Kishida

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

Ivan M. Kulikov

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

Yuriy F. Lachuga

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

Yakov P. Lobachevskiy

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

Antonin Makhalek

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

Tadeush Pavlovsky

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

Vladimir D. Popov

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

Zharylkasyn S. Sadykov

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

Dmitriy S. Strebkov

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

Yulia S. Tsench

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

Vyacheslav I. Chernoiivanov

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

**НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ****Юнусбаев Н.М.**

3D-сканирование в технологии ремонта деталей и узлов тракторов и автомобилей4

Астафьев В.Л.

Рациональный способ формирования стерневых кулис в Северном Казахстане9

Коротченя В.М., Личман Г.И., Смирнов И.Г.

Цифровизация технологических процессов в растениеводстве России14

ПРЕДПОСЕВНАЯ ОБРАБОТКА СЕМЯН**Козырский В.В., Савченко В.В., Синявский А.Ю.**

Предпосевная обработка семян зернобобовых культур в магнитном поле21

ТЕХНИКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ**Ахметов А.А., Ахмедов Ш.А.У.**

Давление переднего колеса на почву тракторов с различной колесной формулой27

Иванов О.А., Утенков Г.Л., Иванова Т.Е.

Механико-технологическое обеспечение эффективности аридного земледелия34

ТЕХНИКА ДЛЯ РАСТЕНИЕВОДСТВА**Черников В.Г., Ростовцев Р.А., Попов Р.А.,****Романенко В.Ю., Ростовцев А.А.**

Определение коэффициентов трения стеблей льна по характеристикам шероховатости.41

Еремин П.А., Михеев В.В., Текушев А.Х.,**Костенко М.Ю., Еремин В.П.**

Рабочие органа горизонтально-конвейерного типа для сгребания травяной массы48

NEW MACHINERY AND TECHNOLOGIES**Yunusbaev N.M.**

Prospects of 3D scanning in repairing tractor and automobile parts and units.4

Astaf'ev V.L.

Rational way of forming stubble coulisses under North Kazakhstan conditions9

Korotchenya V.M., Lichman G.I., Smirnov I.G.

Digitization of technological processes in the crop production of Russia14

PRESOWING TREATMENT OF SEEDS**Kozyrskiy V.V., Savchenko V.V., Sinyavskiy A.Yu.**

Pre-sowing treatment of leguminous crop seeds with a magnetic field21

MACHINERY FOR SOIL CULTIVATION**Akhmetov A.A., Akhmedov Sh.A.U.**

Study of front wheel pressure on the soil of tractors with a different wheel configuration27

Ivanov O.A., Utenkov G.L., Ivanova T.E.

Mechanical and technological support the efficiency of arid farming34

MACHINERY FOR PLANT GROWING**Chernikov V.G., Rostovtsev R.A., Popov R.A.,****Romanenko V.Yu., Rostovtsev A.A.**

Calculation of the friction coefficients of flax stems according to their roughness characteristics41

Eremin P.A., Mikheev V.V., Tekushev A.Kh.,**Kostenko M.Yu., Eremin V.P.**

Working element of a horizontal conveyor type for grass raking48

3D Scanning in Repairing Tractor and Automobile Parts and Units

Nail M. Yunusbaev

Ph.D.(Eng.), vice-rector for education,
e-mail: junusbaev@mail.ru

Bashkir State Agrarian University, Ufa, Republic of Bashkortostan, Russian Federation

Abstract. The authors have found that the expenditures in the structure of the production cost of repairing machines depend not only on the cost of spare parts and materials, but also on the assessment accuracy of the technical condition of inspected parts. (*Research purpose*) To study the possibilities of 3D scanning technology, to improve the measuring accuracy of worn parts during fault finding, and to determine a rational way to restore them. (*Materials and methods*) The authors have carried out the entrance control using the Artec Eva Lite portable handheld 3D scanner with the Artec Studio software while finding faults in the worn crankshaft of the ZMZ-409 engine. They have used the Geomagic Control X software product, which allows carrying out three-dimensional analysis of the part and obtain high-precision measurements, determine the wear of mutual rubbing surfaces, the presence of microcracks, damage to internal cavities and dents in complex-shaped parts. Basing on the conventional technology and reference recommendations, they plotted the route of the crankshaft restoration technology. (*Results and discussion*) The authors have compared the measurement results obtained using metrology instruments and reports in the Geomagic Control X program. They have found significant differences, especially in the amount of digital data. It has been determined that the measurement accuracy obtained from the instruments turned out to be lower. Worn connecting rods and main journals of the ZMZ-409 engine crankshaft have been restored by electrocontact welding of filler materials according to the recommended application modes. (*Conclusions*) The research has revealed the possibility of using 3D-scan in the process of repair and restoration. The authors have proved that this method allows increasing the efficiency of fault finding, shorten its duration in 6 times, reduce the level of subjectivity of the technical condition assessment of inspected parts and reduce the complexity of the process by 30 percent. The authors have confirmed the high accuracy of measurements (up to 0.03 millimeters), owing to which the direct costs of filler materials can be reduced by 20 percent. On the basis of the 3D scanning results, the authors have proposed to form databases in the form of digital archives of parts by groups and brands for subsequent operational use.

Keywords: 3D scanning technology, repair and restoration of parts, fault finding, repair quality control.

■ For citation: Yunusbaev N.M. 3D skanirovanie v tekhnologii remonta detaley i uzlov traktorov i avtomobiley [Prospects of 3D scanning in repairing tractor and automobile parts and units]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N1. 4-8. DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-1-4-8 (In English).

3D-сканирование в технологии ремонта деталей и узлов тракторов и автомобилей

Наиль Муртазович Юнусбаев,

кандидат технических наук, доцент,
e-mail: junusbaev@mail.ru

Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Республика Башкортостан, Российская Федерация

Реферат. Выяснили, что затраты в структуре себестоимости ремонта машин зависят не только от расходов на запасные части и материалы, но и от точности оценки технического состояния детали. (*Цель исследования*) Изучить возможности технологии 3D-сканирования, повысить точность измерения изношенных деталей при проведении дефектовки, определить рациональный способ их восстановления. (*Материалы и методы*) Осуществили входной контроль с помощью портативного ручного 3D-сканера Artec Eva Lite с программным обеспечением Artec



Studio при дефектовке изношенного коленчатого вала двигателя ЗМЗ-409. Использовали программный продукт Geomagic Control X, позволяющий провести трехмерный анализ детали и получить высокоточные измерения, определить износ взаимно трущихся поверхностей, наличие микротрещин, повреждений внутренних полостей и впадин в деталях сложной формы. Опираясь на известную технологию и справочные рекомендации, составили схему маршрута технологии восстановления коленчатого вала. (*Результаты и обсуждение*) Сравнили результаты измерений, полученных с использованием метрологических приборов, и отчетов в программе Geomagic Control X. Выявили значительную разницу, особенно в количестве цифровых данных. Определили, что точность измерений с помощью приборов оказалась ниже. Восстановили изношенные шатунные и коренные шейки коленчатого вала двигателя ЗМЗ-409 электроконтактной приваркой присадочных материалов по рекомендуемым режимам нанесения. (*Выводы*) Выявили возможность использования 3D-сканирования в технологическом процессе ремонта и восстановления. Доказали, что этот метод позволяет повысить эффективность дефектовки, сократить ее продолжительность в 6 раз, снизить уровень субъективности оценки технического состояния детали и уменьшить трудоемкость процесса на 30 процентов. Подтвердили высокую точность измерений (до 0,03 миллиметра), благодаря которой можно снизить прямые затраты на присадочные материалы на 20 процентов. Предложили на основе результатов 3D-сканирования формировать базы данных в виде цифровых архивов деталей по группам и маркам для последующего оперативного использования в работе.

Ключевые слова: 3D-сканирование, ремонт и восстановление деталей, дефектовка, контроль качества ремонта.

Для цитирования: Юнусбаев Н.М. 3D-сканирование в технологии ремонта деталей и узлов тракторов и автомобилей // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №1. С. 4-8. DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-1-4-8.

To implement all the capabilities and requirements of modern agricultural production, machine-building enterprises seek to improve the machinery level, improving production technology aimed at increasing the quality of manufacturing and assembly of units, components and parts, thereby strengthening their operational reliability. The performance and reliability characteristics of imported machinery in many groups of vehicles are superior to their domestic counterparts.

The number of employed agricultural machines with the standard depreciation and operating conditions, which are older than 10 years, reaches 70%, which leads to their low productivity, disruption of the accepted agricultural deadlines and an increase in product losses during harvesting [1]. Much of the equipment needs substantial repairing. Repair service of machines, according to many experts, will become increasingly important with prolonging their service life. In addition, the dealer technical service of imported tractors and agricultural machinery does not provide for the distribution of technical documentation (regulations, conditions, etc.) for carrying out repair and servicing activities.

In order to keep the machines working, it is necessary to improve the repair technology and ensure sufficient operational reliability without cost increasing. The costs in the production cost structure of the machinery repair depend not only on the cost of spare parts and materials, but also on the accuracy of the technical condition assessment of the parts. To determine the degree of wear use is made of check-and-measuring instruments with a permissible measurement error.

The further stage of the repair and restoration technology of separate parts depends on the accuracy and precision of measurements. All operations of troubleshooting are usually performed by fault finding experts. Their experience and skill level influence the measurement result. Studies have shown that, due to poor-quality troubleshooting, the cost of spare parts reaches 30% of the total cost of repair operations [1-3].

THE RESEARCH PURPOSE is to study the capabilities of 3D scanning technology, improve the measuring accuracy of worn parts during troubleshooting, and determine a rational way of their restoring.

MATERIALS AND METHODS. A failure of a unit, an assembly, or a machine can be caused by their wear, fatigue, corrosion, and other processes on working and rubbing surfaces of parts. The rational way of repairing and restoring parts of units and assemblies is chosen basing on the troubleshooting results, taking into account the overall dimensions, shape, nature and size of the part's material wear [2, 4, 10]. Visible wear and kinks are easy enough to detect by visual inspection.

It is relatively easy to determine the wear degree of "volumetric" working surfaces after measurements using special tools (a micrometer, a depth gauge, or a caliper, etc.) using the typical methods. It is much more difficult to measure the degree of wear of the relative position of surfaces, or identify microcracks and damaged internal cavities and dents of complex shaped parts [5]. The more measuring devices and instruments are used to control, the more expensive the repair is. In this regard, the authors have studied the prospects for using the 3D scanning system to estimate the geometrical parameters of worn parts [3].

3D scanner models are distinguished mainly by their accuracy and scanning method [6]. For example, 3D technology is used to repair parts. At the same time, new and worn parts are scanned, obtaining the corresponding clouds of points, which serve as the basis for calculating the worn part parameters and allow for reverse engineering, which means making a similar part with permissible or nominal dimensions [7]. 3D technologies are used to automate and robotize welding of the most difficult fragments of parts and blanks [8]. There are examples of modern methods of measuring and controlling quality in vehicle production. The experience of measuring parts and functional units of complex shape and the advantages of optical digitization methods is based on the practical example of the analysis of plastic moldings of vehicles. With the help of 3D technology, the samples are digitized in high resolution for the subsequent manufacture of an exact copy of the model [9]. There are examples of using 3D scanning as a method of the input control of complex and large-sized parts and assembly units [3, 6]. In case of defects in the technology of repair and restoration of parts,

the authors also used the principle of input control with a 3D scanner. The crankshaft of the ZMZ-409 engine was taken as the object of study. Basing on the existing technology and reference recommendations, they made a diagram of the route of the crankshaft restoration technology (Fig.). It was built basing on a variable technological chain and the subsequent comparison of the recovery technology. According to the presented scheme, after cleaning and washing, the crankshaft is subjected to fault detection using a handheld 3D scanner and the “traditional” method using measuring instruments and tools.

For this operation, the crankshaft was placed on a marker plate and the part was scanned using an Artec Eva Lite portable handheld 3D scanner with Artec Studio software. The technical characteristics of this scanner allow getting an image with an accuracy of up to 0.03 mm and a detail resolution of up to 0.1 mm, and the software helps to compensate for measurement errors [3].

During the scan, the crankshaft image is transferred to a personal computer, where on the screen one can

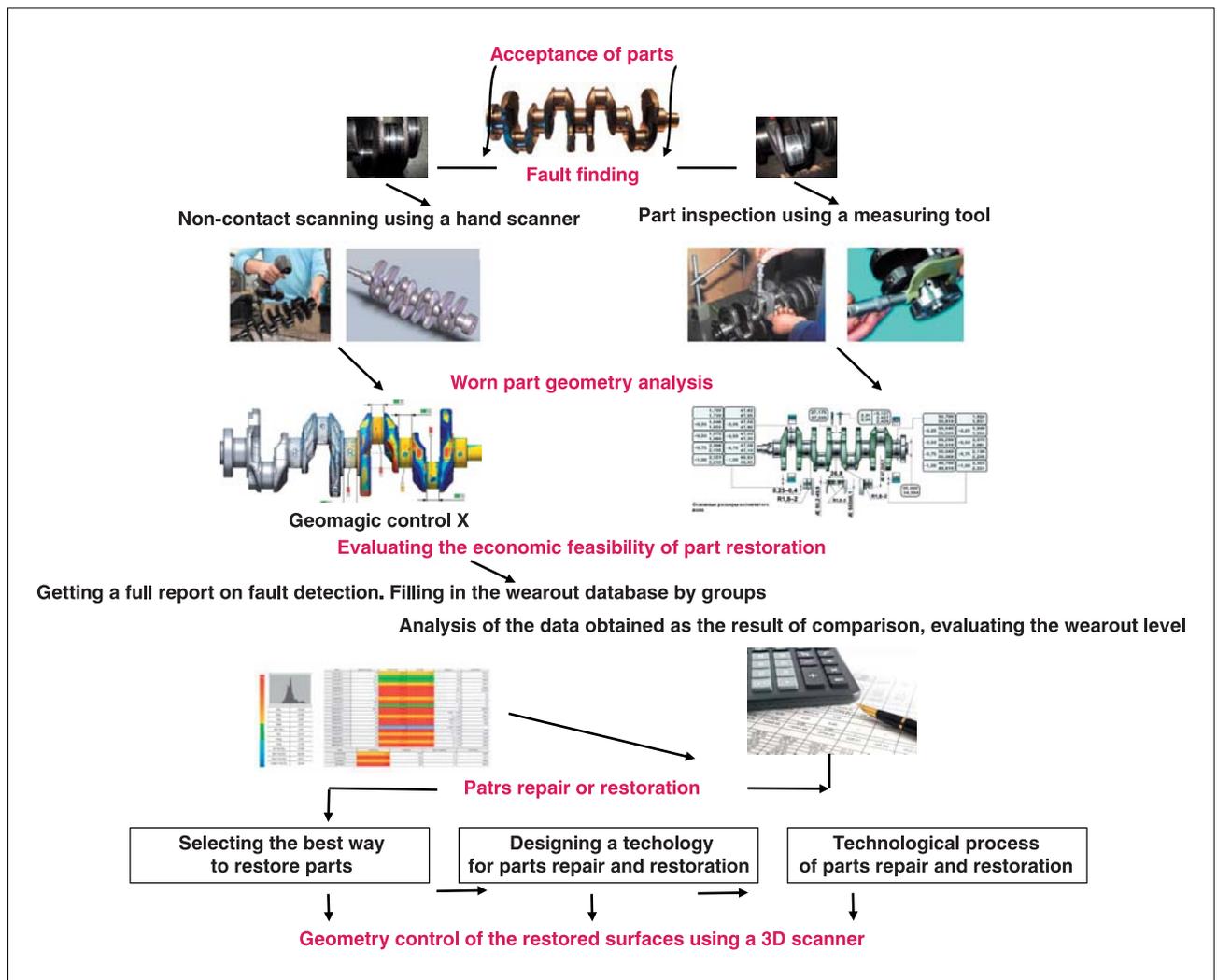


Fig. 1. Technological route of the crankshaft restoration process using a 3D-scanning technology



observe the formation of a 3D model of the crankshaft image (a scanned copy of the worn shaft). Crankshaft scanning and digitizing was performed for 5 minutes.

At the next stage, the researchers performed the geometry control of the part, for which they used the Geomagic Control X program. The program is suitable for three-dimensional analysis as a whole and serves to obtain highly accurate measurements, and also provides for the verification of reconstructed parts [6].

The measurement of the crankshaft parameters in the traditional way was carried out using a micrometric instrument and indicator devices, prisms, templates and profilometers for about 30 minutes.

The Geomagic Control X software analyzes the measured data and compares them with the "reference" data from the database. After the analysis is completed, various reports can be generated [3].

RESULTS AND DISCUSSION. Comparative measurement results obtained using metrology instruments and reports in the Geomagic Control X program have revealed a significant difference, especially in the amount of digital data. Measurement results with the help of instruments were naturally more numerous and were carried out in full accordance with technical specifications for crankshaft troubleshooting. However, the measurement accuracy was lower: taking account of the measurement error and the specified allowable error of the tool, it was 10-50 microns. According to the fault finding data results obtained according to the conventional methods, a rational method for restoring the crankshaft was chosen [1; 3; 9; 10]. Then the route technology of its recovery was worked out. Worn crankshaft and main bearing journals of the engine 3M3-409 crankshaft were restored at the research and production site of the "Technology of Metals and Machinery Repair" Department of the Bashkir SAU by electrocontact welding of filler materials according to the recommended application modes [3]. The restoring control of the part was carried out according to the

same technology as in the case of fault finding with a 3D scanner.

3D scanning in the process reduces the measurement errors. This was shown by preliminary studies exemplified by a specific part. Due to the use of a handheld 3D scanner, the time spent on fault finding was reduced by 6 times, the measurement accuracy increased to 0.03 mm, which reduces the direct costs of filler materials by 20% as compared with traditional methods of fault finding using measuring instruments and tools.

Any recovery technology makes sense only in the case of its practical implementation in production. To this end, rapid acquisition of accurate digital data using 3D scanning of a worn part as a whole will improve the efficiency of fault finding. The next step to improve the quality of the restoration of parts should be the use of digital technologies for determining a rational method of recovery in real time [3].

CONCLUSIONS

1. The technology of fault finding of machinery parts and choosing a rational recovery method based on a comparative comprehensive analysis of the geometry of virtual three-dimensional models of a worn part and a standard use of 3D scanning technology should be considered as promising in the repair technology of units and restoration of automobile and tractor parts.

2. 3D scanning allows increasing the efficiency of fault finding, reduce the time required for it in 6 times, reduce the subjectivity level in the technical condition assessment of the part and reduce the process complexity by 30%; due to the high accuracy of measurements (up to 0.03 mm), the direct costs of filler materials can be reduced by 20%.

3. It is advisable to form the results of 3D scanning in databases as digital archives of parts by groups and brands for subsequent operational use.

REFERENCES

1. Chernoiivanov V.I., Fedorenko V.F., Solovjev R.Yu., Olkhovatskii A.K., Lialiakin V.P., Burumkulov F.Kh., Goriachev S.A., Gerasimov V.S., Gurianov E.V., Solonitsin E.V., Mashrabov N.M., Solodkina L.A., Tyurin S.G., Fadeev A.V., Chetyrkin Yu.B., Gitelman D.A., Bogatova N.O., Taranov A.S. Innovatsionnye metody povysheniya posleremontnoi nadezhnosti selskokhoziaistvennoi tekhniki i investitsionnoi privilekatelnosti remontno-obsluzhivayushchikh predpriatii APK [Innovative methods to increase after repair reliability of farm machinery and investment attractiveness of repair stations in agriculture]. GOSNITI [All-Russian Research Institute on repair and operation of farm machinery]. Moscow: 2012. 399 (In Russian).
2. Lyalyakin V.P., Ivanov V.P. Vosstanovlenie i uprochnenie

detalei mashin v agropromyshlennom komplekse Rossii i Belorusii [Restoration and hardening of machine parts in agriculture of Russia and Belarus]. *Remont, vosstanovlenie, modernizatsiya*. 2004. N2. 2 (In Russian).

3. Yunusbaev N.M. Primenenie 3D skanirovaniya v tekhnologiyakh re monta agregatov i vosstanovleniya avtotraktornykh detalei [Using 3D scanning in technologies to repair and restore machine and tractor parts]. *Vestnik Bashkirskogo GAU*. 2018. N3(47). 133-138 (In Russian).

4. Gabitov I.I., Negovora A.V., Fedorenko V.F. Intellektualizatsiya tekhnicheskogo servisa toplivopodayushchikh sistem dizelei: nauch. izd. [Intellectualization of diesel fuel system maintenance: scientific publication]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2018. 496 (In Russian).

5. Guzema A.B. Novyi podkhod k obosnovaniyu trebovaniy tekhnicheskikh uslovii na defektatsiyu [New approach to prove technical requirements for fault finding]. *Avtotransportnoe predpriiatie*. 2007. N5. 36-40 (In Russian).
6. Lysych M.N., Belinchenko R.A., Shkil'nyy A.A. Oborudovanie i tekhnologii 3D-skanirovaniya [3D scanning equipment and technologies]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika*. 2014. Vol. 2. N4-3(9-3). 210-214 (In Russian).
7. Zhai J., Wang Q., Wei X., et al. Repair of Scraper Conveyor Sprocket Based on Metal 3D Printing. *Zhongguo Jiguang. Chinese Journal of Lasers*. 2017. N44(4). 157-168 (In English).
8. Bobrov V.T., Slyadnev A.M. Robotizirovannye sistemy

- nerazrushayushchego kontrolya i tekhnicheskoi diagnostiki promyshlennykh obiyektov [Robotized systems of continuous monitoring and technical diagnosis of industrial premises]. *Kontrol. Diagnostika*. 2018. N2. 16-31 (In Russian).
9. Bolshakov A. Piat tekhnologiy tsifrovoi ery promyshlennosti [Five technologies for the industry in the digital world]. *Control Engineering. Rossiya*. December. 2017. N6. 76-80 (In Russian).
10. Kurchatkin V.V. Nadezhnost i remont mashin [Reliability and repair of machinery]. Moscow: Kolos. 2000. 775 (In Russian).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черноиванов В.И., Федоренко В.Ф., Соловьев Р.Ю., Ольховацкий А.К., Лялякин В.П., Бурумкулов Ф.Х., Горячев С.А., Герасимов В.С., Гурьянов Е.В., Солоницин Е.В., Машрабов Н.М., Солодкина Л.А., Тюрин С.Г., Фадеев А.В., Четыркин Ю.Б., Гительман Д.А., Богатова Н.О., Таранов А.С. Инновационные методы повышения после-ремонтной надежности сельскохозяйственной техники и инвестиционной привлекательности ремонтно-обслуживающих предприятий АПК. М.: ГОСНИТИ. 2012. 399 с.
2. Лялякин В.П., Иванов В.П. Восстановление и упрочнение деталей машин в агропромышленном комплексе России и Белоруссии. *Ремонт, восстановление, модернизация*. 2004. N2. С. 2-7.
3. Юнусбаев Н.М. Применение 3D-сканирования в технологиях ремонта агрегатов и восстановления автотракторных деталей // *Вестник Башкирского ГАУ*. 2018. N3(47). С. 133-138.
4. Габитов И.И., Неговора А.В., Федоренко В.Ф. Интеллектуализация технического сервиса топливopодających систем дизелей. М: Росинформагротех. 2018. 496 с.

5. Guzema A.B. Новый подход к обоснованию требований технических условий на дефектацию // *Автотранспортное предприятие*. 2007. N5. С. 36-40.
6. Лысыч М.Н., Белинченко Р.А., Шкильный А.А. Оборудование и технологии 3D-сканирования // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. 2014. Т. 2. N4-3(9-3). С. 210-214.
7. Zhai J., Wang Q., Wei X., et al. Repair of Scraper Conveyor Sprocket Based on Metal 3D Printing. *Chinese Journal of Lasers*. 2017. Vol. 44. Issue 4. 157-168.
8. Бобров В.Т., Сляднев А.М. Роботизированные системы неразрушающего контроля и технической диагностики промышленных объектов // *Контроль. Диагностика*. 2018. N2. С. 16-31.
9. Большаков А. Пять технологий цифровой эры промышленности. *Control Engineering Россия*. 2017. N6(72). С. 76-80.
10. Курчаткин В.В. Надежность и ремонт машин. М.: Колос. 2000. 775 с.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 28.01.2019
The paper was submitted
to the Editorial Office on 28.01.2019

Статья принята к публикации 08.02.2019
The paper was accepted
for publication on 08.02.2019

Rational Way of Forming Stubble Coulissses under North Kazakhstan Conditions

Vladimir L. Astaf'ev,

Dr.Sc.(Eng.), professor, e-mail: vladast01@mail.ru

Kazakh Scientific Research Institute of Farm Mechanization and Electrification, Kostanay, Kazakhstan

Abstract. The main limiting factor for increasing yields in the arid steppe conditions of Northern Kazakhstan is moisture. Shoots are usually uneven due to the lack of moisture at the initial stage of their growing. The main source of moisture in this period is winter precipitation. Currently, the following methods of winter precipitation moisture accumulation are used in North Kazakhstan: leaving high standing stubble, seeding coulissses on pure fallow fields, herbicide (chemical) fallow field, snow ridging, harvesting of crops with continuous combining; and forming stubble coulissses. The most preferable way of increasing snow moisture accumulation is the formation of stubble coulissses that can be done in two ways. (*Research purpose*) Efficiency evaluation of the ways of forming stubble coulissses. (*Materials and methods*) Agroengineering and technological evaluation is used as a main research method of different ways of forming stubble coulissses, which is followed by the selection of a more preferable way. (*Results and discussion*) It has been found that in snowy winter both ways of forming stubble coulissses – with alternative passes of a direct combining reaper and a stripping reaper and using a direct combining reaper with a stripper adapter – have shown the same results. However, when there is a little snow in winter, the second way provides more intensive snow accumulation. (*Conclusions*) It has been experimentally found that using the direct combining reaper with the stripper adapter decreases labour inputs by 17.8% and total costs by 23.8% as compared to the formation of coulissses by using sequential passes of the direct combining and the stripping reapers. It has been found that the formation of stubble coulissses every 5-9 meters along with in-line para-plowing at a depth of up to 35 cm provides the highest yield increase of in snowy winter as compared to the conventional ways of moisture accumulation.

Keywords: drought, soil moisture, snow accumulation, moisture accumulation, formation of stubble coulissses, header with a stripper adapter, yield.

■ **For citation:** Astaf'ev V.L. Ratsional'nyy sposob formirovaniya sternevykh kulis v Severnom Kazakhstane [Rational way of forming stubble coulissses under North Kazakhstan conditions]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N1. 9-13. DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-1-9-13 (In English).

Рациональный способ формирования стерневых кулис в Северном Казахстане

Владимир Леонидович Астафьев,

доктор технических наук, профессор,

e-mail: vladast01@mail.ru

Казахский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства, г. Костанай, Республика Казахстан

Реферат. Повышению урожайности в условиях засушливой степи Северного Казахстана препятствует отсутствие влаги. Из-за ее недостатка в почве в начальный период вегетации зачастую получают недружные и изреженные всходы. Основной источник влаги в почве в этот период – зимние осадки. Для их накопления хозяйства Северного Казахстана применяют различные способы: оставление высокой стерни; посев кулис на чистых парах; гербицидный пар; механическое снегозадержание; очес сельскохозяйственных культур в уборочный период, формирование стерневых кулис. Предпочтение отдают формированию стерневых кулис двумя способами. (*Цель исследования*) Оценить эффективность способов формирования стерневых кулис. (*Материалы и методы*) Применяли агротехническую и эксплуатационно-технологическую оценку разных способов формирования стерневых кулис с последующим выбором наиболее предпочтительного варианта. (*Результаты и обсуждение*) Установили, что в снежные зимы способы формирования стерневых кулис чередующимися проходами хедера и очесывающей жатки, и применением хедера с очесывающим адаптером показали равнозначные результаты. В малоснежные зимы второй ва-

риант обеспечил наибольшее накопление снега. (*Выводы*) Подтвердили экспериментально, что применение хедера с очесывающим адаптером снижает затраты труда на 17,8 процента, а совокупные затраты – на 23,8 процента по сравнению со способом формирования стерневых кулис сочетанием проходов хедера и очесывающей жатки. Установили, что формирование стерневых кулис с межкулисным расстоянием 5-9 метров в сочетании со щелеванием на глубину до 35 сантиметров обеспечивает наибольшую прибавку урожая в снежные зимы по сравнению с известными способами накопления влаги.

Ключевые слова: засуха, почвенная влага, снегозадержание, влагонакопление, формирование стерневых кулис, хедер с очесывающим адаптером, урожайность.

Для цитирования: Астафьев В.Л. Рациональный способ формирования стерневых кулис в Северном Казахстане // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №1. С. 9-13. DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-1-9-13.

The main limiting factor in increasing yields in the arid steppe of northern Kazakhstan is moisture. During the year, the region receives an average of 190-360 mm of precipitation, of which about 60% accounts for the growing season. Drought usually repeats every three years out of ten. Crops are sown in the second half of May. In June, there is an intensive development of vegetative and setting up of generative organs of cultivated plants. However, May and June, the driest months of the growing season, are accompanied by strong hotwinds that dry the soil. Due to the lack of soil moisture and intense solar radiation during this period, farmers often receive uneven and thinned shoots. The lack of moisture results in low stemmed crops and low yields. The average annual indicator of grain yield is 12 centners per hectare with a variation from 3-5 centners per hectare in dry years to 17-20 centners per hectare in wet years. The analysis of climatic conditions revealed that the main source of the soil moisture at the beginning of the growing season is the moisture of winter precipitation. Snow contributes up to 40% of the annual soil moisture reserves. These reserves will be sufficient enough for good shoots and ensure the needs of plants in moisture in the first half of the growing season until the July precipitation falls. Thus, due to the winter precipitation, the basis of the future harvest is laid. For the accumulation of winter precipitation, it is recommended to apply various methods: leaving high standing stubble, seeding coulisses on pure fallow fields, herbicide (chemical) fallow field, snow ridging, harvesting of crops with continuous combining [1-10]. Studies carried out in various conditions indicate that the most preferable way of increasing snow moisture accumulation is the formation of stubble coulisses. [5, 6, 8-10]. This method provides the greatest accumulation of moisture and does not require additional costs for the implementation of agricultural practices. Stubble coulisses can be formed in two ways: by alternating passes of a header and a stripping reaper, as well as the use of a header with a stripper adapter installed in its center [6].

THE RESEARCH PURPOSE is to evaluate the effectiveness of methods for forming stubble coulisses.

MATERIALS AND METHODS. Under production conditions, the author carried out experimental studies and observations of the compared methods of forming stubble coulisses and made their agroengineering and technological assessment followed by the choice of the most preferable option.

Water reserves in the snow between the coulisses was calculated by the formula:

$$Z_m = 10 h_m \rho_m, \quad (1)$$

where Z_m – water reserves in the snow between the coulisses, mm;

h_m – the average depth of snow between the coulisses, cm;

ρ_m – the average density of snow between the coulisses, g/cm³.

Water reserves in the coulisse snow was calculated by the formula:

$$Z_k = 10 h_k \rho_k, \quad (2)$$

where Z_k – water reserves in the coulisse snow, mm;

h_k – the average depth of snow in the coulisse, cm;

ρ_k – the average density of snow in the wings, g/cm³.

The total water reserves in the snow of stubble coulisses taking into account the distance between the coulisses and the coulisse width, were calculated using the formula:

$$Z_{\Sigma} = 10 \left(\frac{L}{L+b} h_m \rho_m + \frac{b}{L+b} h_k \rho_k \right), \quad (3)$$

where L – the distance between the coulisses, m;

b – coulisse width, m.

Soil moisture reserves and wheat yield were determined by standard methods.

For forming stubble coulisses with alternating passes of the header and the stripping reaper in the conditions of Northern Kazakhstan, use is made of direct combining headers with an operating width of 7, 9, and 12 m and stripping headers with an operating width of 6 m.

Combine harvesters with direct combining headers usually work at a working speed of 5-8 km/h, and with stripping headers – at a speed of 9-10 km/h. The difference in speeds causes the downtime of combine harvesters with stripping headers. Therefore, the technological process is usually performed as follows: first, 4-5 combines with direct combine harvesters operate a field with an area of about 400 hectares and leave for stripping unmown coulisses 3-5 m wide. After their work is completed, a combine with a stripping header strips the unmown coulisses at a higher speed [6]. The width of the formed stubble coulisses is 3-5 m, and an inter-coullisse width is 7-18 m.

A stripper adapter with an operating width of up to 1.5 m is installed in the center of the header with an operating width of 7 or 9 m (Fig. 1). A combine harvester of class 4, 5, or 6 equipped with such headers usually works at speeds of up to 8 km/h when forming stubble coulisses.



Fig. 1. Header with a stripper adapter:
a) on the basis of Essil-760 with a header of 9-m width
b) on the basis of Essil-740 with a header of 7-m width

When using direct combining headers with an operating width of 7-9 m equipped with a stripper adapter, the width between the stubble coulisses is 5.5-7.5 m (Fig. 2).



Fig. 2. Stubble coulisses left after the header with a stripper adapter

RESULTS AND DISCUSSION. In snowy winters, moisture reserves in the background of stubble coulisses with an inter-coullisse distance of 5-14 m were 3.5 times higher than those in the stubble background and 2 times higher in the continuous stripping background. Thus, in snowy winters, both ways of forming stubble coulisses - with alternative passes of a direct combining reaper and a stripping reaper and using a direct combining

reaper with a stripper adapter – have shown the same results. However, in the low-snow winter of 2017-2018, with the width between the coulisses over 8 m, the snow moisture reserves sharply decreased. Under these conditions, stubble coulisses with an inter-coullisse distance of 5.5-7.5 m, formed by a header with a stripper adapter installed at its center, ensured the greatest accumulation of snow, 1.5-3.0 times higher as compared with other methods (stubble after direct combining, stubble coulisses with an inter-spacing distance of more than 8 m and continuous stripping).

The use of a header with a stripper adapter reduces labor costs by 17.8% and total costs by 23.8% as compared with the method of forming stubble coulisses using a combination of header passes and a stripping header (Table 1).

Stubble coulisses are used to increase snow and moisture accumulation in combination with deep tillage. At the same time, stubble coulisses increase snow accumulation, and deep soil tillage enhances the absorption of moisture into the soil.

Stubble coulisses not only help to accumulate moisture, but also retain it. The use of stubble coulisses in combination with para-plowing (slitting) saves moisture reserves better: its content in the soil is by 12-27% higher as compared with deep tillage and by 33-40% – as compared with the stubble background (Table 2).

In spring, during the period of dry hotwinds, there is practically no wind at the soil surface in stubble coulisses, as a peculiar microclimate is ensured, and the desiccation of the soil sharply decreases.

The methods of moisture accumulation in the soil after snowy winters affect the wheat yield (Table 3). The formation of stubble coulisses with an inter-coullisse distance of 5-9 m in combination with para-plowing (slitting) to a depth of 35 cm provides the greatest yield increase in snowy winters of northern Kazakhstan as compared to the conventional methods of moisture accumulation.

The results obtained indicate the preference of stubble coulisses over full stripping and stubble background. This contradicts the ideas of K.J. Kirkland and C.H. Keys (1981) that the maximum accumulated moisture is observed in standing stubble [7].

However, these results are consistent with the statements of H. Steppuhn, M. Stumborg, G. Lafond and B. McConkey (2009), J.W. Pomeroy, and D.M. Gray (1995) on the advantage of stubble coulisses with an inter-coullisse distance of 10 m over other methods of snow accumulation [9, 10]. However, in contrast to these studies, our results allow to specify the exact value of the inter-coullisse distance in snowy or little-snow winters.

CONCLUSIONS

1. It has been found that in the conditions of Northern

Table 1
TECHNICAL AND ECONOMIC CHARACTERISTICS OF DIFFERENT WAYS OF FORMING STUBBLE COULISSES

Characteristics	Ways		Index indicator, %
	Sequential passes	Using header with stripper adapter	
Efficiency per 1 h of operating time/ha	3.6; 2.0	3.6	- 17.8
Specific fuel consumption, kg/ha	4.8 (4.7; 5.0)	4.8	0
Labour costs, man-h/ha	0.33	0.28	17.8
Total costs, tg/ha (rub/ha)	18054 (3224)	13750 (2455)	23.8

Table 2
MOISTURE CONTENT DEPENDING ON FIELD SURFACE

Variants of tests	Soil moisture content within 1 m soil layer, %	
	during soil moisture conservation	before sowing
In-line para-plowing (slitting) at a depth of 35 cm on stubble coulisses arranged every 5-9 m	100	88
In-line para-plowing (slitting) at a depth of 35 cm on stubble coulisses arranged every 14-18 m	92	81
In-line para-plowing (slitting) at a depth of 35 cm on stubble field	80	69
Subsurface tillage at a depth of 30 cm on stubble field	73	61
Untreated stubble field (check plot)	58	68

Table 3
INFLUENCE OF DIFFERENT WAYS OF SOIL MOISTURE ACCUMULATION ON YIELD LEVEL

Ways of moisture accumulation	Average yield, t/ha	Increase in check plot, t/ha
Stubble field (check plot)	1.2	-
1,5 m stubble coulisses every 5-9 m + in-line para-plowing (slitting) at a depth of 35 cm	1.7	0.5
3-4 m stubble coulisses every 14-18 m + in-line para-plowing (slitting) at a depth of 35 cm	1.6	0.4
In-line para-plowing (slitting) at a depth of 35 cm on stubble field	1.5	0.3
Deep subsurface tillage at a depth of 30 cm on stubble field	1.4	0.2

Kazakhstan, a comparison of the methods of stubble coulisse formation in snowy winters by alternating passes of direct-combine harvesters in combination with a stripping header, a wide-cut direct combine harvester with a stripper adapter installed at its center have shown equivalent results. However, in the little-snow winter of 2017-2018 the stubble backstage formed by the direct combine harvester with a stripper adapter installed in its center provided the greatest accumulation of snow.

2. The results of operational and technological evaluation have shown that the use of a header with a

stripper adapter reduces labor costs by 17.8% and total costs by 23.8% as compared with the method of forming stubble coulisses using a header and stripping header combination.

3. It has been established that even in snowy winters, the formation of stubble coulisses with an inter-coulisse distance of 5–9 m in combination with para-plowing (slitting) to a depth of 35 cm provides the greatest yield increase in the conditions of Northern Kazakhstan as compared to the conventional methods of moisture accumulation.

REFERENCES

1. Barayev A.I. Novoye zemledeliye vostochnykh raionov strany [New agricultural practices in the eastern regions of the country]. Selected works in 3 vol. Almati. 2008. Vol. 2. 183-193 (In Russian).
2. Barayev A.I. Agrotehnika tselinnykh zemel [Agrotechnical cultivation of virgin lands]. Selected works in 3 vol. Almati. 2008. Vol. 1. 38-48 (In Russian).
3. Barayev A.I. Dopolnitelnoye uvlazhneniye pochvy – vazhnoye usloviye polucheniya vysokikh urozhayev [Supplementary soil moistening as an important condition for obtaining high yields]. Selected works in 3 vol. Almati. 2008. Vol. 1. 58-65 (In Russian).
4. Kaskarbayev Z. A., Kenzhebekov A.Z., Skoblikov V.F. Sokhraneniye i povysheniye plodorodiya pochvy putem



minimalizatsii obrabotki i sistemi primeneniya udobreniy [Preservation and improvement of soil fertility by minimized tillage and fertilizer application]. Shortandi. 2005. 50 (In Russian).

5. Astaf'yev V., Ivanchenko P., Kirkilevskiy V. Effectiveness Assessment of Methods for Moisture Accumulation During Winter Precipitation in the Arid Steppe of Northern Kazakhstan. *Journal of engineering and applied sciences*. 2017. Vol. 12. Special Issue 4. 6821-6826 (In English).

6. Astaf'yev V.L., Ivanchenko P.G., Malygin S.L. Effektivniy sposob nakopleniya vlagi zimnikh osadkov i tekhnicheskie sredstva dlya ego osushhestvleniya [Effective method of accumulating winter precipitation moisture and technical means for its implementation]. *APK Rossii*. 2016. N1. 59-64 (In Russian).

7. Kirkland K.J., Keys C.H. The effect of snow trapping and cropping sequence on moisture conservation and utilization in west-central Saskatchewan. *Canadian journal of plant science*. 1981. N61. 241-246 (In English).

8. Staple W.J., Lehane J.J. & Wenhardt A. Conservation of soil moisture from fall and winter precipitation. *Canadian Journal of Soil Science*. 1960. Vol. 40. 36-47 (In English).

9. Caprio J.M., Grunwald G.K., Snyder R.D. Effect of standing small grain stubble on snow cover characteristics in alternate fallow strip cropping. *Agronomy Journal*. 1986. Vol. 78. N1. 99-106 (In English).

10. Sharratt B.S. Corn stubble height and residue placement in the northern U.S. Belt. Part I. Soil physical environment during winter. *Soil Tillage. Res.* 2002. Vol. 64. N3-4. 243-252 (In English).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бараев А.И. Новое земледелие восточных районов страны // Избр. тр. В 3 т. Алматы: 2008. Т. 2. С. 183-193.

2. Бараев А.И. Агротехника целинных земель // Избр. тр. В 3 т. Алматы: 2008. Т. 1. С. 38-48.

3. Бараев А.И. Дополнительное увлажнение почвы – важное условие получения высоких урожаев // Избр. тр.: в 3 т. Алматы: 2008. Т. 1. С. 58-65.

4. Каскарбаев Ж.А., Кенжебеков А.Ж., Скобликов В.Ф. Сохранение и повышение плодородия почвы путем минимализации обработки почвы и системы применения удобрений. Шортанды: 2005. 50 с.

5. Astaf'ev V., Ivanchenko P., Kirkilevskiy V. Effectiveness Assessment of Methods for Moisture Accumulation During Winter Precipitation in the Arid Steppe of Northern Kazakhstan. *Journal of engineering and applied sciences*. 2017. Vol. 12. Special Issue 4. 6821-6826.

6. Астафьев В.Л., Иванченко П.Г., Малыгин С.Л. Эф-

фективный способ накопления влаги зимних осадков и технические средства для его осуществления // *АПК России*. 2016. N1. С. 59-64.

7. Kirkland K.J., Keys C.H. The effect of snow trapping and cropping sequence on moisture conservation and utilization in west-central Saskatchewan. *Canadian journal of plant science*. 1981. N61(2). 241-246.

8. Staple W.J., Lehane J.J. & Wenhardt A. Conservation of soil moisture from fall and winter precipitation. *Canadian Journal of Soil Science*. 1960. Vol. 40. 36-47.

9. Caprio J.M., Grunwald G.K., Snyder R.D. Effect of standing small grain stubble on snow cover characteristics in alternate fallow strip cropping. *Agronomy Journal*. 1986. Vol. 78. N1. 99-106.

10. Sharratt B.S. Corn stubble height and residue placement in the northern U.S. Belt. Part I. Soil physical environment during winter. *Soil Tillage. Res.* 2002. Vol. 64. N3-4. 243-252.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 15.05.2018
The paper was submitted
to the Editorial Office on 15.05.2018

Статья принята к публикации 18.01.2019
The paper was accepted
for publication on 18.01.2019

Цифровизация технологических процессов в растениеводстве России

Валерий Михайлович Коротченя,

кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник, e-mail: valor99@gmail.com;

Геннадий Иванович Личман,

доктор технических наук, главный специалист;

Игорь Геннадьевич Смирнов,

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Влияние информационных технологий на развитие экономики настолько велико, что его часто именуют четвертой промышленной революцией. В рамках Европейской ассоциации сельскохозяйственного машиностроения разработали аналогичное понятие – сельское хозяйство 4.0, что означает переход от точного сельского хозяйства к цифровому. (*Цель исследования*) Разработать общие рекомендации по цифровизации сельского хозяйства в России. (*Материалы и методы*) Использовали нормативный подход: сопоставление исследуемой сущности цифрового сельского хозяйства и текущего положения дел в отрасли. (*Результаты и обсуждение*) Установили, что цифровое сельское хозяйство (сельское хозяйство 4.0 и 5.0) базируется на развитых механизированных технологиях (сельское хозяйство 2.0), технологиях точного сельского хозяйства (сельское хозяйство 3.0) с использованием таких цифровых технологий и технических средств, как интернет вещей, искусственный интеллект, роботы. Уточнили, что прогресс внедрения цифрового сельского хозяйства зависит от успешности функционирования всех трех уровней системы. Заключение, что недостаточное количество сельхозтехники свидетельствует о слабом развитии механизированных технологий; замедленное внедрение точного сельского хозяйства означает отсутствие опыта работы с данными технологиями в большинстве сельхозпредприятий. Дефицит ведущих российских компаний в сфере ИТ (аналогичных Amazon, Apple, Google, IBM, Intel, Microsoft и другим) ослабляет потенциальные возможности прорыва нашей страны в создании и развитии интернета вещей, искусственного интеллекта, роботов. (*Выводы*) Выявили необходимость формирования научных подходов цифровизации технологических операций возделывания сельскохозяйственных культур. Представили классификацию технологий точного сельского хозяйства. Подчеркнули, что цифровизацию аграрного производства необходимо проводить на фоне роста механизации (энергонасыщенности); для внедрения технологий точного и цифрового сельского хозяйства следует организовать финансируемые государством центры обучения фермеров применению данных технологий. Требуется разработать меры по усилению развития сферы ИТ, сформировать интегральный подход к проблеме цифровизации. **Ключевые слова:** информационные технологии, точное сельское хозяйство, цифровое сельское хозяйство, цифровизация, интернет вещей.

■ **Для цитирования:** Коротченя В.М., Личман Г.И., Смирнов И.Г. Цифровизация технологических процессов в растениеводстве России // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №1. С. 14-20. DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-1-14-20.

Digitalization of Technological Processes of Crop Production in Russia

Valeriy M. Korotchenya,

Ph.D.(Econ.), key research engineer,
e-mail: valor99@gmail.com;

Gennadiy I. Lichman,

Dr.Sc.(Eng.), chief research engineer;

Igor G. Smirnov,

Ph.D.(Eng.), key research engineer

Federal Scientific Agro-Engineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. Currently, the influence of program documents on digital agriculture development is rather great in our country. Within the framework of the European Association of Agricultural Mechanical Engineering, a relevant definition of agriculture 4.0 has been elaborated and introduced. Research purpose: offering general recommendations on the digitalization of agriculture in Russia Materials and methods. The authors make use of the normative approach: the core of digital agriculture is compared with the current state of the agricultural sector in Russia. Results and discussion. The analysis has found that digital agriculture



(agriculture 4.0 and 5.0) is based on developed mechanized technologies (agriculture 2.0), precision agriculture technologies (agriculture 3.0), the use of such digital technologies and technical means as the Internet of things, artificial intelligence, and robotics. The success of introducing digital agriculture depends on the success of all the three levels of the system. However, the problem of the lack of agricultural machinery indicates insufficient development of mechanized technologies; poor implementation of precision agriculture technologies means the lack of experience of using these technologies by the majority of farms in our country; an insufficient number of leading Russian IT companies (such as Amazon, Apple, Google, IBM, Intel, Microsoft etc.) weakens the country's capacity in making a breakthrough in the development of the Internet of things, artificial intelligence, and robotics. Conclusions. The authors have identified the need to form scientific approaches to the digitization of technological operations used in the cultivation of agricultural crops and classified precision agriculture technologies. They have underlined that the digitization of agricultural production in Russia must be carried out along with intensified mechanization (energy saturation); also, to introduce technologies of precision agriculture and digital agriculture, it is necessary to organize state-funded centers for training farmers in the use of these technologies. Finally, it is necessary to take measures to strengthen the development of the IT sphere, as well as formulate an integral approach to the problem of digitalization.

Keywords: information technologies, precision agriculture, digital agriculture, Internet of things.

■ For citation: Korotchenya V.M., Lichman G.I., Smirnov I.G. Tsifrovizatsiya tekhnologicheskikh protsessov v rasteniyevodstve Rossii [Digitization of technological processes in the crop production of Russia]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N1. 14-20. DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-1-14-20 (In Russian).

Влияние информационных технологий на развитие экономической деятельности настолько велико, что Организация экономического сотрудничества и развития назвала это мегатрендом, а в других источниках его часто именуют четвертой промышленной революцией. Понятие промышленности 4.0 возникло в Германии в 2011 г. в ходе разработки федеральных программных документов по совершенствованию промышленности и национальной инновационной системы. В рамках Европейской ассоциации сельскохозяйственного машиностроения *СЕМА* было разработано аналогичное понятие – сельское хозяйство 4.0, что означает переход от точного сельского хозяйства к цифровому.

Развитие цифровизации технологий часто рассматривается как способ существенного роста производства сельскохозяйственной продукции, чтобы накормить все более урбанизированное растущее население планеты.

Можно сформулировать определение понятия цифрового сельского хозяйства, рассмотрим более подробно стадии развития отрасли.

Так, *СЕМА* с точки зрения используемых технологий и технических средств предлагает следующую периодизацию в развитии сельского хозяйства:

- сельское хозяйство 1.0 основано на использовании ручного труда (низкая производительность начало XX века);

- сельское хозяйство 2.0 – так называемая «Зеленая революция», когда начали активно использовать удобрения, пестициды, сельскохозяйственную технику (конец 1950-х годов);

- сельское хозяйство 3.0 – точное сельское хозяйство (1990-2000-е годы);

- сельское хозяйство 4.0 – цифровое сельское хозяйство, или, другими словами, «умное сельское хозяйство» – *smart agriculture* (начало 2010-х годов).

Использование цифровых технологий и технических средств в аграрном производстве (недорогих и улучшенных сенсоров и актуаторов, микропроцессоров, широкополосной цифровой сотовой связи, облачных вычислений, методов анализа больших данных и др.) позволит вывести точное сельское хозяйство на новый уровень, когда информация обо всех процессах и операциях существует в цифровом виде, а передача, обработка и анализ данных в основном автоматизированы.

Цель исследования – разработать общие рекомендации по цифровизации сельскохозяйственного производства в России.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Применили нормативный подход: исследуемую сущность цифрового сельского хозяйства сопоставили с текущим положением дел в отрасли; на основе данного сопоставления выдвинули рекомендации общего характера по проведению цифровизации сельскохозяйственного производства в нашей стране.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. В ходе исследования выявили, что цифровое сельское хозяйство (сельское хозяйство 4.0 и 5.0) базируется на развитых механизированных технологиях (сельское хозяйство 2.0), технологиях точного сельского хозяйства (сельское хозяйство 3.0), использовании таких цифровых технологий и технических средств, как интернет, искусственный интеллект, роботы.

В настоящее время осуществляется переход от сельского хозяйства 4.0 к сельскому хозяйству 5.0. Сельское хозяйство 5.0 будет основываться на робототехнике и искусственном интеллекте, открываю-

щих дорожку к автономной системе принятия решений и выполнению операций без участия человека.

С учетом принятой классификации сформулируем расширенное определение цифрового сельского хозяйства (как объединению сельского хозяйства 4.0 и 5.0): под цифровым сельским хозяйством понимают такой подход к ведению аграрного производства, когда выполнение технологических операций осуществляется с помощью компьютера (искусственного интеллекта), который посредством подключенных к нему сельскохозяйственных и других машин осуществляет – самостоятельно или с минимальным участием человека – сбор, передачу и анализ соответствующих данных, принимает оптимальные (точные) решения, выполняет и контролирует их.

Данное определение носит футуристический характер, поскольку оно еще не имеет реализованной формы. Внедрены лишь отдельные элементы в упрощенном варианте. Сельскохозяйственное производство будет осуществляться с помощью искусственного интеллекта и подключенного к нему комплекса машин. Если в прошлом и настоящем основные сельскохозяйственные машины – тракторы и комбайны, то в будущем главным станет компьютер (искусственный интеллект). В настоящее время в странах с развитой экономикой в основе сельского хозяйства лежат как традиционные (сельское хозяйство 2.0 в наиболее развитой форме), так и инновационные машинные технологии, представленные сельским хозяйством 4.0.

Сельское хозяйство 5.0 пока находится в зачаточном состоянии. Сельское хозяйство 3.0 представляет собой по сути начало цифрового сельского хозяйства и поэтому служит промежуточной стадией. Но технологии цифрового сельского хозяйства слишком дорогие даже для США. Развитие сельского хозяйства 4.0 идет в русле мегатенденции влияния цифровых технологий на развитие экономики и общества [1]. Цены на оборудование и программное обеспечение цифровых технологий будут постепенно снижаться, что сделает сельское хозяйство 4.0 более доступным и распространенным по всему миру.

Исходя из данных за 1996-2013 г., Минсельхоз США изучил прибыльность применения отдельных технологий точного земледелия (как составной части цифрового сельского хозяйства). В целом точные технологии повышают прибыль хозяйства на довольно малую величину. Так, для американской фермы среднего размера, возделывающей кукурузу, повысить прибыль помогут следующие мероприятия [2]:

- составление карт с использованием *GPS* увеличивает операционную прибыль почти на 3%, а чистую прибыль – почти на 2%;
- системы автоматического вождения – на 2,5 и 1,5% соответственно;
- дифференцированное выполнение технологи-

ческих операций – на 1,1% в обоих случаях.

Первая группа из указанных технологий – самая распространенная. Например, в 2010 г. в США почти половина хозяйств, выращивающих кукурузу и представляющих 70% всей посевной площади по этой культуре, применяла мониторы при уборке урожая. В свою очередь, технологии дифференцированного воздействия не так популярны: в том же 2010 г. их использовали почти 20% хозяйств, выращивающих кукурузу и занимающих менее 30% всей посевной площади, занятой этой культурой. Технологии точного сельского хозяйства остаются весьма дорогими, и их применение возрастает прямо пропорционально размеру посевных площадей хозяйства [2].

Цифровое сельское хозяйство в версии 5.0 можно также рассматривать как последнюю стадию механизации сельского хозяйства, когда автономные машины управляются на основе цифровых технологий, без участия человека. Сельское хозяйство с точки зрения развития техники движется в сторону все большей автоматизации и роботизации. Ситуация в нашей стране несколько иная, поскольку после распада СССР количество сельхозтехники в абсолютном и относительном исчислении неуклонно сокращается [3, 4]. По данным Росстата, в конце 2017 г. в сельхозорганизациях на 1000 га пашни приходилось 3 трактора, а на 1000 га посевов зерновых культур – 2 зерноуборочных комбайна, из года в год возрастает нагрузка (площадь пашни/посевов) на одну машину.

Согласно разработанной *СЕМА* периодизации развития аграрного производства проблема нехватки сельхозтехники в России лежит в плоскости сельского хозяйства 2.0. В настоящее время идет разработка подпрограммы по цифровому сельскому хозяйству в рамках Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017-2025 гг. (утверждена постановлением Правительства Российской Федерации № 996 от 25 августа 2017 г., с изменениями и дополнениями). Минсельхоз России инициировал продление Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на период до 2025 г., куда включил ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство».

Актуальность развития цифровых технологий основывается не только на стремлении повысить эффективность сельскохозяйственного производства, но и на необходимости сократить технологический разрыв между Россией и западными странами, обеспечив тем самым задел в области формирования цифрового сельского хозяйства.

Научные подходы к цифровизации технологических операций возделывания сельскохозяйственных культур

Одной из движущих сил цифровизации сельского хозяйства стало точное земледелие, в котором на-



чали широко использовать информационно-коммуникационные технологии (ИКТ). Поэтому рассмотрим, какие элементы точного земледелия необходимо использовать при выполнении технологического процесса возделывания растений, чтобы успешно осуществить его цифровизацию (*таблица*) [5].

Представленная классификация технологий точного сельского хозяйства облегчит цифровизацию технологического процесса возделывания сельскохозяйственных культур.

Дифференцированное выполнение технологических операций позволит [6]:

- повысить эффективность сельхозпроизводства;
- сократить затраты удобрений, посевного материала и ГСМ;
- уменьшить загрязнение окружающей среды;
- усовершенствовать систему принятия управленческих решений;

- снизить риски, обусловленные природно-климатическими, политическими и социально-экономическими факторами;

- улучшить ведение учета.

Цифровое сельское хозяйство (сельское хозяйство 4.0) подразумевает нечто большее, чем просто точное сельское хозяйство (сельское хозяйство 3.0). Дополнительно к технологиям, обозначенным в *таблице*, необходимо добавить элементы, которые появились в рамках цифровой экономики:

- техническое зрение;
- интернет вещей;
- роботы;
- искусственный интеллект;
- блокчейн.

Среди вышеназванных цифровых технологий подробнее остановимся на интернете вещей, поскольку он отражает интегральное, системообра-

Таблица Table	
Классификация технологий точного сельского хозяйства TAXONOMY OF PRECISION FARMING TECHNOLOGIES	
Группы технологий A group of technologies	Технологии / Technologies
Технологии сбора данных Data acquisition technologies	Глобальные спутниковые системы навигации, используемые для составления электронных карт, вождения агрегатов и др. Global navigation satellite systems used for mapping, guidance etc.
	Технологии составления карт (рельефа поля, обеспеченности почвы элементами питания, урожайности) с использованием ГИС Mapping technologies (elevation maps, soil mapping, yield mapping), GIS
	Технологии получения информации о свойствах почвы и растений (на основе камер и сенсоров) с использованием наземных технических средств и БПЛА Data acquisition of environmental properties technologies (based on cameras and sensors), using unmanned ground and aerial vehicles
	Машины и программное обеспечение для технологий сбора данных (тракторы с использованием международного протокола <i>ISOBUS</i> , БПЛА, беспилотные наземные транспортные средства, информационные системы управления сельскохозяйственным предприятием, программное обеспечение для мониторинга и прогнозирования урожайности и др.) Machines and software for data acquisition technologies (tractor sensing systems using <i>ISOBUS</i> , unmanned aerial vehicles, unmanned ground vehicles, farm management information systems, software for crop monitoring and forecasting etc.)
Технологии передачи данных Data transfer technologies	Мобильная связь / Mobile communication
	Связь <i>LPWAN</i> Low-Power Wide-Area Network
	Интернет (беспроводной, широкополосный) Internet (wireless, broadband)
Технологии анализа и оценки данных Data analysis & evaluation technologies	Технологии анализа данных для выделения однородных зон в пределах поля Management zone delineation
	Системы поддержки принятия решений Decision support systems
	Информационные системы управления сельскохозяйственным предприятием Farm management information system
	Работа с большим объемом данных, облачные вычисления Big data, cloud computing
Технологии дифференцированного воздействия на систему «почва + растение» Precision application technologies (soil + plant)	Технологии дифференцированного применения (дифференцированное внесение минеральных, органических, известковых удобрений, средств химической защиты растений, дифференцированный посев, точное физическое уничтожение сорняков, точное орошение и др.) Variable rate application technologies (variable-rate application fertilizer, manure, lime, pesticide, variable-rate seeding, precision physical weeding, precision irrigation etc.)
	Технологии вождения (контролируемое движение по полю, автопилотирование) Guidance technology (control traffic farming, auto-guidance systems)

зующее понятие в области цифровизации сельского хозяйства.

Интернет вещей для цифровизации сельского хозяйства

Цифровое сельское хозяйство по содержанию представляет собой точное сельское хозяйство, а по форме – это интернет вещей. Приведем определения этих двух понятий.

Точное сельское хозяйство – применение технологий и принципов для использования пространственной и временной изменчивости, связанной со всеми аспектами сельскохозяйственного производства, с целью повышения урожайности и качества окружающей среды [7, 8]. Оно нацелено на учет особенностей того или иного участка поля при посадке (посеве), уходе, уборке сельскохозяйственных культур.

Интернет вещей – компьютерная сеть идентифицируемых физических предметов, оснащенных сенсорами, обладающих встроенным интеллектом, способных взаимодействовать с другими предметами и людьми через Интернет [9]. Концептуально интернет вещей состоит из трех уровней: предметов, сетевого и программного обеспечения (*рис. 1*) [10].

Технологии интернета вещей могут быть интегрированы в точное сельское хозяйство в различных аспектах для повышения эффективности и производительности сельского хозяйства. Их можно разделить на три группы (*рис. 2*) [11]: локальный сбор данных, их анализ и выполнение сельскохозяйственных операций интернетом вещей. Посредством интернета вещей точное сельское хозяйство становится действительно цифровым (сельское хозяйство 4.0). Использование искусственного интеллекта и роботов приводит к роботизации сельского хозяйства 5.0 (*рис. 2*).

Рассмотрим подробнее вышеупомянутые группы технологий интернета вещей применительно к растениеводству. Основные операции по возделыванию сельскохозяйственных культур – это обработка почвы, применение удобрений, посев, уход, уборка урожая. Все указанные операции могут быть выполнены в рамках парадигмы интернета вещей.

1. *Локальный сбор* данных осуществляется по следующим позициям:

1) агрономические данные (глубина посева семян, расстояние между семенами, густота стояния, внесенные удобрения и пестициды, влажность и температура зерна при уборке и др.) [12-15];

2) данные о почве (распределение питательных веществ в почве, ее влажность при посеве семян и др.);

3) данные о сельскохозяйственной технике (скорость, направление движения, потребление топлива, данные гидравлики, работа двигателя, диагностика и др.).

Сбор данных предоставляет сведения о параметрах почвы и статусе/урожайности на каждом участке для последующего управления технологическими операциями: посев, внесение удобрений, при-

<p>Уровень программного обеспечения Application layer</p> <p>Приложения интернета вещей (программное обеспечение для координации действий людей, предметов, систем с определенной целью) Software that coordinates the interaction of people, systems, and things/devices for a given purpose</p> <p>Управление данными (программное обеспечение для управления данными в рамках интернета вещей) Data management (software to manage data within an IoT)</p> <p>Управление процессами (программное обеспечение для управления процессами в рамках интернета вещей) Process management (software to manage processes within an IoT)</p> <p>Программное обеспечение среды функционирования (платформа) приложений интернета вещей Application development and execution environment to create IoT applications(application platform)</p> <p>Драйвера предметов Drivers of things</p>
<p>Уровень сетевого обеспечения Connectivity layer</p> <p>Сетевые протоколы, сетевое оборудование, облако Network protocols, network infrastructure, the cloud</p>
<p>Уровень предметов Things layer</p> <p>Предметы (включая встроенное программное обеспечение) Things (including embedded software)</p> <p>Компоненты: встроенные сенсоры, актуаторы, процессоры, порты подключения/антенны Components: embedded sensors, actuators, processors, and connectivity ports/antennas</p>

Рис. 1. Архитектура интернета вещей

Fig. 1. Architecture of the Internet of things

менение средств защиты растений, полив и др. Его осуществляют главным образом двумя способами:

- применение многофункциональных устройств, оснащенных системами технического зрения для дистанционного зондирования почвы и растений, включая спутники, сельскохозяйственные самолеты, воздушные шары и БПЛА;

- использование датчиков, установленных в разных местах сельхозугодий. Разработаны диверсифицированные датчики для измерения влажности, температуры, уровня нитратов и так далее. Все данные должны включать информацию о местоположении, где они были получены. Эта информация обычно генерируется на устройствах *GPS* и используется в дальнейшем при дифференцированном выполнении соответствующей технологической операции.

Объем генерируемых данных может быть огромным (*big data*). Например, предлагаемое фирмой *Farmobile* (США) в качестве стартапа решение по работе с данными предусматривает сбор данных каждую секунду, так что для крупных хозяйств такие данные автоматически становятся большими.

Генерируемые данные передаются посредством беспроводных сетевых технологий в облачное хранилище для обработки и принятия решений. Сбор данных, их передачу, анализ и хранение, как правило, осуществляет специализированная компания, с которой сельхозпроизводитель заключает договор

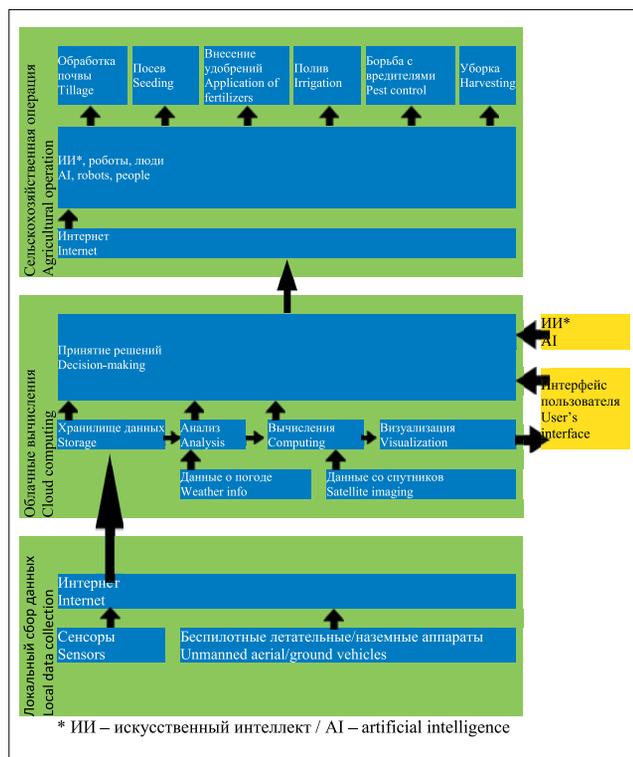


Рис. 2. Интернет вещей как сущность сельского хозяйства 4.0 и 5.0

Fig. 2. The Internet of things as the basis of agriculture 4.0 and 5.0

о предоставлении таких услуг. Эта компания может обладать собственным облаком либо заключить соответствующий договор об использовании инфраструктуры третьей организации, например Amazon (как в случае вышеупомянутой фирмы Farmobile).

2. Анализ данных на основе облачных вычислений и принятие решений осуществляется на основе вычислений согласно разработанному программному обеспечению поставщика услуг по управлению данными (с привлечением искусственного интеллекта или без него). Применяют интеллектуальный анализ данных (data mining) и машинное обучение. Представители хозяйства – это только пользователи. За соответствующую плату им предоставляют весь спектр услуг. Например, стандартный пакет американской фирмы OnFarm по управлению сельскохозяйственными данными стоит 50 долл. в мес., а предназначенный для крупных хозяйств план стоит уже 250 долл. в мес., имеется также бесплатный план. Для анализа данных OnFarm использует разработанные учеными специальные модели. Такие же услуги по работе с большим объемом данных предлагает, например, итальянская компания OMISA.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. OECD Science, Technology and Innovation Outlook. Paris: OECD Publishing. 2016. 191.
 2. Schimmelpfennig D. Farm Profits and Adoption of Precision Agriculture. Economic Research Report. USDA. 2016. N217. 39.

Результаты анализа данных и рекомендуемые действия могут быть выведены на компьютер пользователя визуализацией данных.

3. Выполнение сельскохозяйственных операций, поддерживаемых интернетом вещей. Технологии интернета вещей позволяют полностью автоматизировать все выполняемые сельскохозяйственные операции: обработку почвы, внесение удобрений, посев, уход, уборку урожая. Каждое транспортное средство для выполнения операций должно быть оснащено системами GPS/ГЛОНАСС и ГИС.

Операции выполняют с использованием сельскохозяйственных устройств, машин, транспортных средств на основе решений или карт, сгенерированных на этапе облачных вычислений. Связанные команды управления передают через Интернет на сельскохозяйственные машины, которые при помощи ГИС будут обрабатывать точно (оптимально) каждый участок поля.

Выводы. Отношение к цифровому сельскому хозяйству как собственно цифровому ошибочно, поскольку сужает его содержание. Более объективен интегральный подход, когда все уровни – «механический», «точный», «цифровой» – рассматриваются как части одной и той же системы. Государственная политика в области развития сельского хозяйства при цифровизации должна учитывать следующие проблемы:

1. Нехватка сельхозтехники свидетельствует о замедленном развитии механизированных технологий.
 2. Слабое внедрение точного сельского хозяйства стало следствием отсутствия опыта работы с данными технологиями в большинстве сельхозпредприятий.
 3. Недостаточное количество ведущих российских компаний в сфере IT (аналогичных зарубежным Amazon, Apple, Google, IBM, Intel, Microsoft и др.) ослабляет потенциальные возможности прорыва в создании и развитии таких революционных технологий, как интернет вещей, искусственный интеллект, роботы.
- Общие рекомендации по цифровизации сельского хозяйства России следующие:
- цифровизацию сельскохозяйственного производства необходимо проводить на фоне роста его механизации (энергонасыщенности);
 - для внедрения технологий точного сельского хозяйства и цифрового сельского хозяйства необходимо организовать финансируемые государством центры обучения фермеров применению данных технологий;
 - следует разработать меры по усилению развития сферы IT в России.

3. Шевцов В.Г., Годжаев З.А., Лавров А.В., Зубина В.А. Методика определения оптимального количественно-возрастного состава тракторного парка // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. Т. 10. N4. С. 9-14.

4. Шевцов В.Г., Лавров А.В. Условия восстановления тракторного парка сельскохозяйственного производства как системы с ограниченными ресурсами // *Тракторы и сельхозмашины*. 2012. N2. С. 3-6.

5. Pedersen S.M., Lind K.M. Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives. Cham: Springer. 2017. 276.

6. Личман Г.И., Марченко Н.М., Дринча В.М. Основные принципы и перспективы применения точного земледелия. М.: Россельхозакадемия. 2004. 79 с.

7. Pierce F.J., Nowak P. Aspects of Precision Agriculture. *Advances in Agronomy*. 1999. Vol. 67. 1-85.

8. Егоров В.Г., Измайлов А.Ю., Леонова Е.В., Личман Г.И. Внедрение точного земледелия в зерновом хозяйстве Центрального Нечерноземья // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2014. Т. 7. N3. С. 25-29.

9. Rayes A., Salam S. Internet of Things – From Hype to Reality: The Road to Digitization. Cham: Springer. 2017. 328.

10. Schoder D. Introduction to the Internet of Things. Internet of Things A to Z: Technologies and Applications. Hoboken:

John Wiley & Sons, Inc. 2018. 3-50.

11. Zhang L., Dabipi I.K., Brown W.L.Jr. Internet of Things Applications for Agriculture. Internet of Things A to Z: Technologies and Applications. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc. 2018. 507-528.

12. Сычев В.Г., Байбеков Р.Ф., Афанасьев Р.А., Измайлов А.Ю., Личман Г.И., Пугачев П.М. Информационно-технологическое обеспечение точного земледелия // *Плodoreдие*. 2011. N3. С. 44-46.

13. Елизаров В.П., Артюшин А.А. Ценч Ю.С. Перспективные направления развития отечественной сельскохозяйственной техники // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. 2(31) С. 12-18.

14. Бейлис В.М., Ценч Ю.С., Старовойтов С.И., Кынев Н.Г. Тенденции развития прогрессивных машинных технологий и техники в сельскохозяйственном производстве // *Вестник ВИЭСХ*. 2018 №4(33). С. 150-156.

15. Мазитов Н.К., Шогенов Ю.Х. Ценч Ю.С. Сельскохозяйственная техника: решения и перспективы // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. N3(32).С. 94-100.

REFERENCES

1. OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2016. Paris: OECD Publishing. 2016. 191 (In English).

2. Schimmelpfennig D. Farm Profits and Adoption of Precision Agriculture. Washington DC: United States Department of Agriculture. 2016. N217. 39 (In English).

3. Shevtsov V.G., Godzhayev Z.A., Lavrov A.V., Zubina V.A. Metodika opredeleniya optimal'nogo kolichestvenno-vozrastnogo sostava traktornogo parka [Methods for determining the optimal age and composition of the tractor fleet]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016. Vol. 10. N4. 9-14 (In Russian).

4. Shevtsov V.G., Lavrov A.V. Usloviya vosstanovleniya traktornogo parka sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva kak sistemy s ogranichennymi resursami [Conditions for the restoration of the agricultural tractor fleet as a system with limited resources]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2012. N2. 3-6 (In Russian).

5. Pedersen S.M., Lind K.M. Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives. Cham: Springer. 2017. 276 (In English).

6. Lichman G.I., Marchenko N.M., Drincha V.M. Osnovnye printsipy i perspektivy primeneniya tochnogo zemledeliya [Basic principles and perspectives of the use of precision farming]. М.: Rossel'khozakademiya. 2004. 79 (In Russian).

7. Pierce F.J., Nowak P. Aspects of Precision Agriculture. *Advances in Agronomy*. 1999. Vol. 67. 1-85 (In English).

8. Egorov V.G., Izmaylov A.Yu., Leonova E.V., Lichman G.I. Vnedrenie tochnogo zemledeliya v zernovom khozyaystve Tsentral'nogo Nечернозем'ya [Introduction of precision farming in the grain industry of the Central Non-Black Earth (Non-Chernozem) Region]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny*

i tekhnologii. 2014. Vol. 7. N3. 25-29 (In Russian).

9. Rayes A., Salam S. Internet of Things – From Hype to Reality: The Road to Digitization. Cham: Springer. 2017. 328 (In English).

10. Schoder D. Introduction to the Internet of Things. Internet of Things A to Z: Technologies and Applications. Hoboken: John Wiley&Sons, Inc. 2018. 3-50 (In English).

11. Zhang L., Dabipi I.K., and Brown W.L.Jr. Internet of Things Applications for Agriculture. Internet of Things A to Z: Technologies and Applications. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc. 2018. 507-528 (In English).

12. Sychev V.G., Baybekov. R.F, Afanas'yev R.A., Izmaylov A.Yu., Lichman G.I., Pugachev P.M. Informatsionno-tekhnologicheskoye obespecheniye tochnogo zemledeliya [Information-technological support for precision farming]. *Plodorediye*. 2011. N3. 44-46 (In Russian).

13. Elizarov V.P., Artyushin A.A. Tsench Yu.S. Perspektivnye napravleniya razvitiya otechestvennoy sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Perspective directions of development of domestic agricultural machinery]. *Vestnik VIESH*. 2018. N2(31). 12-18 (In Russian).

14. Beylis V.M., Tsench Yu.S., Starovoytov S.I., Kynev N.G. Tendentsii razvitiya progressivnykh mashinnykh tekhnologiy i tekhniki v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve [Trends in the development of advanced machine technologies and techniques in agricultural production]. *Vestnik VIESH*. 2018 N4(33). 150-156 (In Russian).

15. 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).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 30.10.2018
The paper was submitted
to the Editorial Office on 30.10.2018

Статья принята к публикации 12.02.2019
The paper was accepted
for publication on 12.02.2019

Предпосевная обработка семян зернобобовых культур в магнитном поле

Владимир Викторович Козырский,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: epafort1@ukr.net;

Виталий Васильевич Савченко,
кандидат технических наук, доцент;
Александр Юрьевич Синявский,
кандидат технических наук, доцент

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев, Украина

Реферат. Предпосевная обработка семян в магнитном поле позволяет увеличить урожайность сельскохозяйственных культур, повысить качество продукции и уменьшить заболеваемость растений. (*Цель исследования*) Установить механизм действия магнитного поля на семена, определить наиболее эффективный режим предпосевной обработки семян зернобобовых культур в магнитном поле и конструктивные параметры оборудования. (*Материалы и методы*) Определили, что под действием магнитного поля возрастает скорость химических и биохимических реакций в клетках растений, усиливается транспорт ионов и молекул через клеточную мембрану и повышается ее проницаемость, вследствие чего улучшаются посевные качества семян и увеличивается урожайность. Провели экспериментальные исследования семян гороха сорта Адагумский и фасоли сорта Грибовский, используя метод планирования эксперимента. В качестве факторов выбрали магнитную индукцию и скорость движения семян в магнитном поле. (*Результаты и обсуждение*) Показали, что при повышении магнитной индукции от 0 до 0,065 теслы энергия прорастания, всхожесть семян, биометрические показатели, урожайность гороха и фасоли сначала возрастают, а затем снижается. Выявили, что использование четырехкратного перемагничивания усиливает эффект магнитной обработки семян. Скорость движения семян влияет значительно меньше, чем магнитная индукция. Определили наиболее эффективный режим обработки при энергетической дозе обработки семян гороха – 1,90, фасоли – 1,86 джоуль-секунды на килограмм при полюсном делении 0,23 метра. Создали установку для предпосевной обработки семян в магнитном поле, которая состоит из четырех пар магнитов, установленных параллельно над и под лентой транспортера с переменной полярностью. (*Выводы*) Установили наиболее эффективный режим предпосевной обработки семян зернобобовых культур в магнитном поле: магнитная индукция 0,065 теслы при четырехкратном перемагничивании и скорость движения транспортера 0,4 метра в секунду обеспечивают повышение урожайности гороха на 42 процента, фасоли – на 23 процента.

Ключевые слова: предпосевная обработка семян, горох, фасоль, магнитное поле, магнитная индукция, полюсное деление, энергия прорастания, всхожесть семян, энергетическая доза обработки, урожайность.

■ **Для цитирования:** Козырский В.В., Савченко В.В., Синявский А.Ю. Предпосевная обработка семян зернобобовых культур в магнитном поле // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №1. С. 21-26. DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-1-21-26.

Pre-Sowing Treatment of Leguminous Crop Seeds with a Magnetic Field

Vladimir V. Kozyrskiy,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: epafort1@ukr.net;

Vitaliy V. Savchenko,
Ph.D.(Eng.), associate professor;
Aleksandr Yu. Sinyavskiy,
Ph.D.(Eng.), associate professor

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kiev, Ukraine

Abstract. Pre-sowing treatment of seeds in a magnetic field can increase crop yields, reduce the incidence of plants and improve product quality. (*Research purpose*) To analyze the mechanism of the magnetic field influence on seeds, determine the most effective mode of pre-sowing treatment of leguminous crop seeds in a magnetic field and design parameters of the equipment. (*Materials and methods*) The authors have determined that under the influence of a magnetic field, the rate of chemical and biochemical reactions in plant cells increases, the transport of ions and molecules through the cell membrane

increases, and the membrane permeability increases, so the sowing qualities of seeds improve and their yield increases. Experimental studies were carried out with seeds of "Adagumsky" peas variety and "Gribovsky" beans variety, using the experiment planning method. Magnetic induction and the velocity of seed movement in a magnetic field were taken as influencing factors. (*Results and discussion*) With a change in the magnetic induction from 0 to 0.065 T, the germination energy, germination, biometric indicators, and the yield of peas and beans increase, while with further increase in magnetic induction they decrease. It has been revealed that the use of four-time magnetization reversal enhances the effect of magnetic seed treatment. The velocity of seeds is a less significant factor than magnetic induction. The most effective treatment mode occurred at an energy dose of 1.90 J·s/kg for peas and 1.86 J·s/kg for beans, which is provided for a pole division of 0.23 metre. The authors have designed a plant for pre-sowing treatment of seeds in a magnetic field, which consists of four pairs of magnets installed in parallel above and below the conveyor belt with variable polarity. (*Conclusion*) The most effective pre-sowing treatment of leguminous crop seeds in a magnetic field is a magnetic induction of 0.065 T with fourfold reversal and a conveyor movement speed of 0.4 metre per seconds, which provides an increase in peas yield by 42 percent, and that of beans – by 23 percent.

Keywords: peas, beans, magnetic field, magnetic induction, seed movement speed, pole division, germination energy, germination, energy amount required per treatment, yield.

For citation: Kozyrskiy V.V., Savchenko V.V., Sinyavskiy A.Yu. Predposevnaya obrabotka semyan zernobobovykh kul'tur v magnitnom pole [Pre-sowing treatment of leguminous crop seeds with a magnetic field]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. Vol. 13. N1. 21-26. DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-1-21-26 (In Russian).

Для предпосевной обработки семян начинают использовать различные электрофизические методы, один из которых – обработка семян в магнитном поле [1]. Его преимущества заключаются в большой производительности установок, низких затратах энергии, безопасности для окружающей среды и обслуживающего персонала.

Ранее установили положительное влияние магнитного поля на семена сельскохозяйственных культур, которое проявляется в улучшении посевных качеств, биометрических показателей растений, уменьшении заболеваемости, повышении урожайности и качества продукции [2-5].

Однако отсутствие объяснения действия магнитного поля на процессы, происходящие в семенах, не позволяет установить все влияющие факторы при магнитной обработке семян и определить их оптимальные значения.

Цель исследования – установить механизм действия магнитного поля на семена, определить наиболее эффективный режим предпосевной обработки семян зернобобовых культур в магнитном поле и конструктивные параметры оборудования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Обработка семян в магнитном поле влияет на физико-химические процессы, происходящие в них.

Под действием магнитного поля возрастает скорость химических и биохимических реакций, которые в основном носят окислительно-восстановительный характер. В результате увеличивается концентрация продуктов реакции и происходит стимуляция семян [6]:

$$\omega_m = \omega(\exp m(K^2 B^2 + 2KBv_n)N_a/2RT), \quad (1)$$

где ω – скорость химической реакции при отсут-

ствии магнитного поля, моль/л·с;

m – приведенная масса частиц, кг;

K – коэффициент, зависящий от концентрации и вида ионов, а также количества перематничиваний, м/(с·Тл);

B – магнитная индукция, Тл;

v – скорость движения частицы, м/с;

N_a – число Авогадро, молекул/моль;

R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);

T – температура раствора, К.

При этом в растительной клетке повышается растворимость солей и кислот.

Изменение скорости химических и биохимических реакций, а также растворимости солей влияет на биопотенциал и pH среды [5].

В результате действия силы Лоренца усиливается транспорт ионов через клеточную мембрану, увеличивая концентрацию минеральных веществ в клетке, участвующих в химических реакциях [7]:

$$\Delta C_{i_2} = C_{i_1} f_i l_i \frac{\varphi}{L} (a + 2K_m B/\tau) (a + 2K_m B/\tau) + K_K K_b Bv) e^{\frac{m(K_i^2 B^2 + 2K_i Bv)}{2RT}}, \quad (2)$$

где C_{i_1} , C_{i_2} – концентрации веществ в растительных клетках, разделенных мембраной, моль/л;

l_i – путь, который проходит ион в магнитном поле, м;

φ – диффузионный потенциал, В;

L – толщина мембраны, м;

a – размер поры в мембране, м;

K_m , K_K , K_b , K_i – коэффициенты;

τ – полюсное деление, м.

Магнитное поле повышает проницаемость мем-



браны и ускоряет диффузию молекул через нее. Вследствие этого увеличиваются водопоглощение семян и концентрация кислорода в клетке [6-9]:

$$\Delta C = \frac{(C_{1O_2} - C_{2O_2}) e^{K_{li}^2 B^2 + K_2 B v}}{2} \times \left(1 - e^{-\frac{E_a}{kT} - \frac{2k_0(a + K_m B / \tau)^2}{L^2} t}\right), \quad (3)$$

где k_0 – коэффициент, c^{-1} ;

E_a – энергия активации диффузии, Дж;

k – постоянная Больцмана, Дж/К.

Увеличение концентрации кислорода в клетках подавляет процесс спорообразования фитопатогенных грибов, повышает энергию прорастания и всхожесть семян, положительно влияя на урожайность сельхозкультур.

Семена гороха сорта Адагумский и фасоли сорта Грибовский перемещали на транспортере через магнитное поле. Магнитную индукцию регулировали изменением расстояния между магнитами в пределах 0-0,5 Тл и измеряли тесламетром 43205/1. Скорость движения семян на транспортной ленте через магнитное поле регулировали в пределах 0,4-0,8 м/с посредством приводного двигателя транспортера и преобразователя частоты *Delta VFD004EL43A*.

Энергию прорастания и всхожесть определяли по ГОСТ 12038-84.

Исследования проводили на базе теории планирования эксперимента [9]. В качестве факторов принимали магнитную индукцию (X_1) и скорость движения семян (X_2), а выходными величинами служили энергия прорастания, всхожесть семян, высота растения, урожайность.

Проведенные однофакторные эксперименты определили значения верхнего, нижнего и основного уровней фактора, которые составили для магнитной индукции соответственно 0; 0,065 и 0,130 Тл, для скорости движения семян – 0,4; 0,6 и 0,8 м/с.

Результаты и обсуждение. При изменении магнитной индукции от 0 до 0,065 Тл энергия прорастания и всхожесть семян гороха и фасоли возрастают, а при дальнейшем увеличении магнитной индукции начинают уменьшаться (рис. 1 и 2). Установили, что при магнитной индукции, превышающей 0,130 Тл, энергия прорастания и всхожесть семян изменялись незначительно, но были выше, чем в контроле.

По результатам проведенного многофакторного эксперимента получили уравнения регрессии, которые в физических величинах имеют вид:

для энергии прорастания гороха:

$$E = 43,315 + 1327B - 5,278v - 192,308Bv - 7232B^2; \quad (4)$$

для энергии прорастания фасоли:

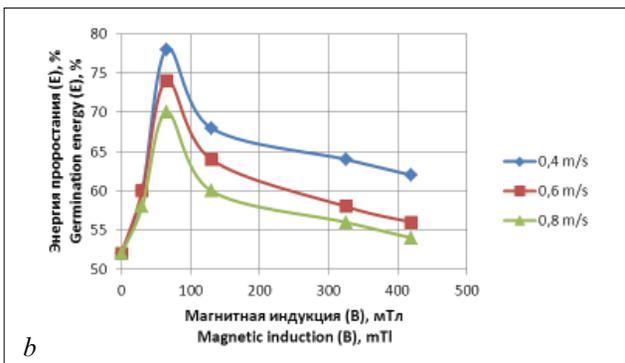
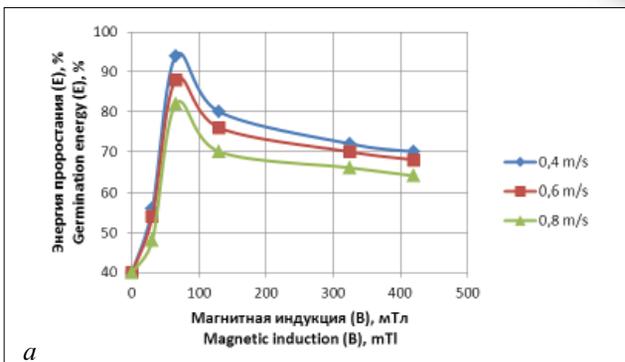


Рис. 1. Влияние магнитной индукции и скорости движения семян на энергию их прорастания: а – гороха; б – фасоли

Fig. 1. The dependence of germination energy of peas (a) and beans (b) seeds on magnetic induction

$$E = 54,75 + 626,923B - 4,583v - 96,154Bv - 3629B^2; \quad (5)$$

для всхожести семян гороха:

$$G = 68,111 + 730,769B - 4,444v - 115,385Bv - 4103B^2; \quad (6)$$

для всхожести семян фасоли:

$$G = 69,491 + 504,701B - 2,917v - 96,154Bv - 2827B^2. \quad (7)$$

Наилучшие результаты получили при магнитной индукции 0,065 Тл и четырехкратном перемагничивании (рис. 3). Эффект магнитной обработки зависит также от скорости движения семян. Но в диапазоне скоростей 0,4-0,8 м/с она сказывается меньше, чем магнитная индукция. Максимальные значения по сравнению с контрольными получены при скорости 0,4 м/с.

Биометрические показатели растений гороха наибольшие при магнитной индукции 0,065 Тл и скорости движения семян 0,4 м/с (рис. 4).

Предпосевная обработка семян в магнитном поле способствует повышению урожайности гороха и фасоли. При магнитной индукции 0,065 Тл и скорости движения семян 0,4 м/с урожайность гороха увеличилась на 42% по сравнению с контролем, фасоли – на 23%.

Проведенные многофакторные эксперименты позволили определить энергетическую дозу обработки семян в магнитном поле:

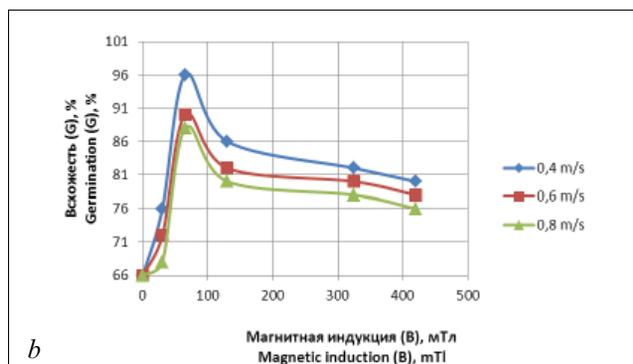
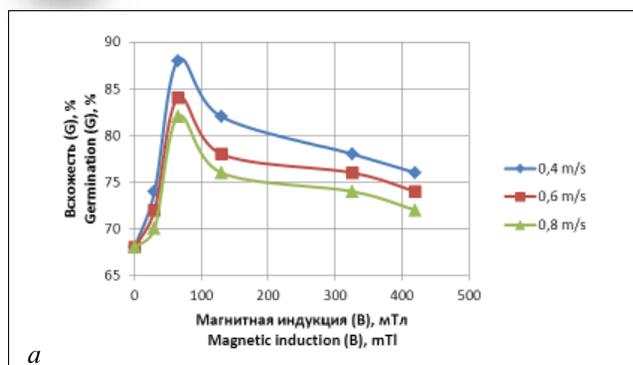


Рис. 2. Влияние магнитной индукции и скорости движения семян на их всхожесть: а – гороха; б – фасоли
 Fig. 2. The dependence of germination of peas (a) and beans (b) seeds on magnetic induction

$$D = \int \frac{W}{m} dt = \int \frac{B^2 dl}{2\mu\mu_0\rho v}, \quad (8)$$

где W – энергия магнитного поля, Дж;
 t – время обработки, с;
 m – масса семян, кг;
 μ – относительная магнитная проницаемость;
 μ_0 – магнитная постоянная, Гн/м;
 ρ – плотность семян, кг/м³,
 l – путь, который проходят семена в магнитном поле, м.

Магнитная индукция изменяется вдоль ленты транспортера при движении семян в магнитном поле (рис. 5).

Интеграл (8) определили методом трапеций. Для этого отдельные участки представленной на рисунке зависимости аппроксимировали линейными функциями. Проверка по критерию Фишера показала адекватность такой аппроксимации:

$$\int_0^L B^2 dl = \int_0^{L/8} \left(-\frac{8B_m l}{L}\right)^2 dl + \int_{L/8}^{3L/8} \left(-2B_m + \frac{8B_m l}{L}\right)^2 dl + \int_{3L/8}^{5L/8} \left(4B_m - \frac{8B_m l}{L}\right)^2 dl + \int_{5L/8}^{7L/8} \left(-6B_m + \frac{8B_m l}{L}\right)^2 dl + \int_{7L/8}^L \left(8B_m - \frac{8B_m l}{L}\right)^2 dl = \frac{B_m^2 L}{24} + \frac{B_m^2 L}{12} + \frac{B_m^2 L}{12} + \frac{B_m^2 L}{12} + \frac{B_m^2 L}{24} = \frac{B_m^2 L}{3}, \quad (9)$$



Рис. 3. Развитие ростков гороха при обработке семян в магнитном поле с различной магнитной индукцией, Тл:
 1 – контроль; 2 – 0,03; 3 – 0,065; 4 – 0,13; 5 – 0,325; 6 – 0,42 Тл
 Fig. 3. Development of pea sprouts during seed treatment in a magnetic field with different magnetic induction, T: 1 – control; 2 – 0.03 T; 3 – 0.065 T; 4 – 0.13 T; 5 – 0.325 T; 6 – 0.42 T

Тогда энергетическая доза обработки семян равна:

$$D = \frac{B_m^2 n \tau}{6\mu\mu_0\rho v}, \quad (10)$$

где B_m – значение магнитной индукции в плоскости установки магнитов, Тл;
 n – число перемагничиваний.

Установили, что энергия прорастания, всхожесть

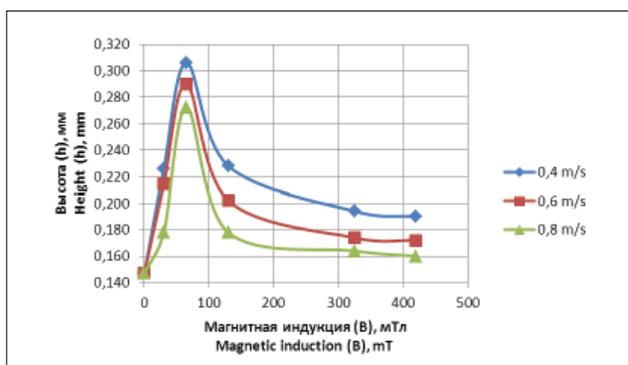


Рис. 4. Влияние магнитной индукции и скорости движения семян на рост растений гороха через 4 недели после высева
 Fig. 4. Effect of magnetic induction and seed movement speed on the growth of peas in 4 weeks after sowing

семян и биометрические показатели гороха имели наибольшее значение при энергетической дозе обработки 1,90 Дж·с/кг, а фасоли – 1,86 Дж·с/кг.

Исходя из требования обеспечения необходимой энергетической дозы обработки семян, определили значение полюсного деления, которое при магнитной индукции 0,065 Тл, четырехкратном перемагничивании и скорости движения 0,4 м/с составляет 230 мм.

Создали установку для предпосевной обработки семян в магнитном поле (рис. б). Она состоит из транспортера напольного типа с электроприводом; устройства для магнитной обработки, где непо-

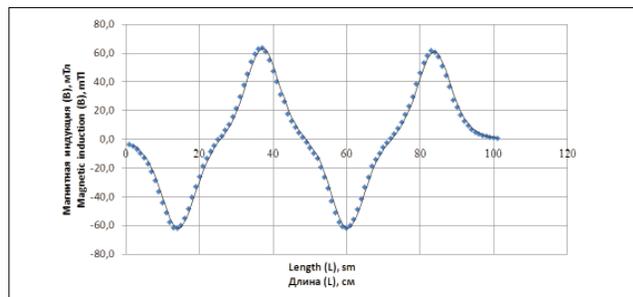


Рис. 5. Изменение магнитной индукции в центре воздушного зазора вдоль оси транспортера

Fig. 5. The change of magnetic induction in the centre of air gap along the conveyor axis

средственно происходит обработка семян; загрузочного транспортера и пульта управления.

Конструкция установки для обработки семян в магнитном поле предусматривает применение четырех пар магнитов из интерметаллического композита $NdFeB$, установленных параллельно над и под лентой транспортера с переменной полярностью. Магниты приклеены к плите, выполненной из стали. Промежутки между магнитами заполнены текстолитом. С лицевых сторон плиты обшиты нержавеющей сталью.

Транспортер имеет четыре ролика для обеспечения возможности монтажа магнитной плиты под лентой транспортера. Привод транспортера осуществляется от трехфазного асинхронного электродвигателя мощностью 0,25 кВт через понижающий редуктор.

Используя программу моделирования двумерных полей методом конечных элементов *ELCUT*, выполнили расчет магнитной системы установки. Выяснили, что магнитная индукция 0,065 Тл в центре воздушного зазора обеспечивается при использовании четырех пар постоянных магнитов из интерметаллического композита $NdFeB$ марки *N38SH*, которые размещены на плите из стали Ст3 толщиной 10 мм. Полусное деление составляет 230 мм, величина воздушного зазора – 90 мм.

Выводы. Установили, что всхожесть семян, энергия прорастания и развитие растений гороха и фасоли при предпосевной обработке в магнитном поле пропорциональны квадрату магнитной индукции, числу перемагничиваний и скорости движения семян в магнитном поле. Определили наиболее эффективный режим обработки: при магнитной индукции 0,065 Тл, четырехкратном перемагничивании и скорости движения семян 0,4 м/с, что

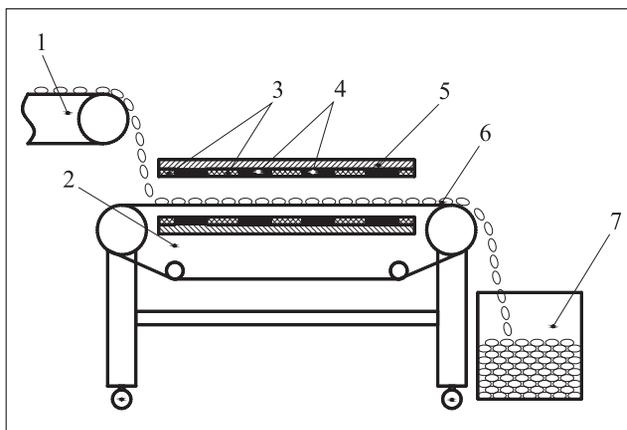


Рис. 6. Установка для предпосевной обработки семян в магнитном поле: а – общий вид; в – функциональная схема:

1 – загрузочный транспортер; 2 – транспортер установки для предпосевной обработки семян в магнитном поле; 3 – текстолитовые вставки; 4 – постоянные магниты; 5 – плита из электротехнической стали; 6 – объект обработки; 7 – контейнер

Fig. 6. The installation for magnetic seed treatment: a – general view; в – functional scheme: 1 – a loader; 2 – a conveyor to process seeds in a magnetic field before sowing; 3 – textolite inserts; 4 – permanent magnets; 5 – a plate made of electric technical steel; 6 – an object to be treated; 7 – a container

обеспечивает повышение урожайности гороха на 42%, фасоли – на 23%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Левина Н.С., Тертышная Ю.В., Бидей И.А., Елизарова О.В. Предпосевная обработка семян подсолнечника, сои и кукурузы низкочастотным электромагнитным из-

лучением // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N4. С. 22-28.

2. Zepeda-Bautista R., Hernández-Aguilar C., Suazo-Ló-

pez F., Domínguez-Pacheco A. F., Virgen-Vargas J., Pérez-Reyes C., Peón-Escalante I. Electromagnetic field in corn grain production and health. *African Journal of Biotechnology*. 2014. Vol. 13(1). 76-83.

3. Martínez F.R., Pacheco A.D., Aguilar C.H., Pardo G.P., Ortiz E.M. Effects of magnetic field irradiation on broccoli seed with accelerated aging. *Acta Agrophysica*. 2014. Vol. 21(1). 63-73.

4. Меньшова Е.А., Нижарадзе Т.С. Влияние предпосевной обработки семян ячменя на его устойчивость к болезням и урожайность // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2012. Т. 14. №5. С. 241-244.

5. Савченко В.В., Синявский А.Ю. Изменение биопотенциала и урожайности сельскохозяйственных культур

при предпосевной обработке семян в магнитном поле // *Вестник ВИЭСХ*. 2013. №2(11). С. 33-37.

6. Козырский В.В., Савченко В.В., Синявский А.Ю. Влияние магнитного поля на транспорт ионов в клетке растений // *Вестник ВИЭСХ*. 2014. №3(16). С. 18-22.

7. Козырський В.В., Савченко В.В., Синявський О.Ю. Вплив магнітного поля на водопоглинання насіння // *Науковий вісник НУБіП України*. 2014. Вип. 194. Ч.1. С. 16-20.

8. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука. 1976. 278 с.

9. Kozyrskiy V., Savchenko V., Sinyavsky O. Presowing Processing of Seeds in Magnetic Field. Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development. IGI Global. 2018. 576-620.

REFERENCES

1. Levina N.S., Tertyshnaya Yu.U., V., Bidey I. A., Elizarova O.V. Predposevnaia obrabotka semyan podsolnechnika, soi i kukuruzy nizkochastotnym elektromagnitnym izlucheniyem [Pre-sowing treatment of sunflower, soybean and maize seeds with low frequency electromagnetic radiation] *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2018. 12. №4. 22-28 (In Russian).

2. Zepeda-Bautista R., Hernández-Aguilar C., Suazo-López F., Domínguez-Pacheco A.F., Virgen-Vargas J., Pérez-Reyes C., Peón-Escalante I. Electromagnetic field in corn grain production and health. *African Journal of Biotechnology*. 2014. Vol. 13(1). 76-83 (In English).

3. Martínez F.R., Pacheco A.D., Aguilar C.H., Pardo G.P., Ortiz E.M. Effects of magnetic field irradiation on broccoli seed with accelerated aging. *Acta Agrophysica*. 2014. Vol. 21(1). 63-73 (In English).

4. Men'shova E.A., Nizharadze T.S. Vliyanie predposevnoy obrabotki semyan yachmenya na ego ustoychivost' k bolezniam i urozhaynost' [Effect of presowing treatment of barley seeds on its resistance to disease and yield]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2014. Vol. 14. №5. 241-244 (In Russian).

5. Savchenko V.V., Sinyavskiy A.Yu. Izmeneniye biopotentsiala

i urozhaynosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur pri predposevnoy obrabotke semyan v magnitnom pole [Change biopotential and crop yields at the pre-treatment of seeds in a magnetic field]. *Vestnik VIESH*. 2013. N.2(11). 33-37 (In Russian).

6. Kozyrskiy V.V., Savchenko V.V., Sinyavskiy A.Yu. Vliyanie magnitnogo polya na transport ionov v kletke rasteniy [The influence of magnetic field on the transport of ions in the cell of plants]. *Vestnik VIESH*. 2014. №3(16). 18-22 (In Russian).

7. Kozyrskiy V.V., Savchenko V.V., Sinyavskiy A.Yu. Vpliv magnitnogo polya na vodopoglinaniya nasinnya [The influence of magnetic field on the diffusion of molecules through the cell membrane of seed crops]. *Naukoviy Visnik NUBiP Ukraini*. 2014. Vip. 194. Ch. 1. 16-20 (In Ukrainian).

8. Adler Yu.P., Markova Ye.V., Granovskiy Yu.V. Planirovaniye eksperimenta pri poiske optimal'nykh usloviy [Planning an experiment in search for optimal conditions]. Moscow: Nauka. 1976. 278 (In Russian).

9. Kozyrskiy V., Savchenko V., Sinyavskiy O. Presowing Processing of Seeds in Magnetic Field. Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development. IGI Global. 2018. 576-620 (In English).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 16.11.2018
The paper was submitted
to the Editorial Office on 16.11.2018

Статья принята к публикации 31.01.2019
The paper was accepted
for publication on 31.01.2019

Давление переднего колеса на почву тракторов с различной колесной формулой

Адилбек Агабекович Ахметов¹,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: tractor-v@mail.ru;

Шерзодбек Анвархон Угли Ахмедов²,
и.о. генерального директора

¹Ташкентский институт инженеров ирригации и механизации сельского хозяйства. г. Ташкент, Республика Узбекистан;

²Конструкторско-технологический центр сельхозмашиностроения, г. Ташкент, Республика Узбекистан

Работа выполнена при поддержке грантов Министерства инновационного развития Республики Узбекистан БФ-1-023 и МВ-Атех-2018-91.

Реферат. По мере увеличения мощности высококлиренсного трактора с колесной формулой 3К2 (ТТЗ-811) и повышения массы агрегируемых с ним машин возросло давление его ходовых элементов на почву. Предложили заменить его на трактор с колесной формулой 4К2 с регулируемым клиренсом (ТТЗ-1033), имеющий ряд преимуществ. *(Цель исследования)* Изучить влияние колесной формулы, скорости движения и давления воздуха в шине на давление переднего колеса трактора на почву. *(Материалы и методы)* Аналитически установили зависимость площади пятна контакта шины колеса с почвой от параметров его шины и от внутреннего давления воздуха в ней. Для замеров использовали силоизмерительные датчики типа ТАС607 со специально изготовленными насадками. *(Результаты и обсуждение)* Установили, что при схожих условиях среднее давление в слое 10-50 сантиметров по ширине шины переднего колеса на почву у ТТЗ-811 на 19,0-27,6 килопаскаля больше по сравнению с ТТЗ-1033. Выявили, что с увеличением давления воздуха в шине с 1,2 до 2,2 мегапаскаля среднее давление переднего колеса на почву в посевном слое (0-10 сантиметров) у трактора ТТЗ-1033 возрастает с 61,9 до 70,8 килопаскаля, а у трактора ТТЗ-811 – с 63,5 до 79,3 килопаскаля. Установили, что на глубине 10 сантиметров давление переднего колеса трактора ТТЗ-1033 составило в среднем 84,9-108,2 килопаскаля, а на глубине 50 сантиметров – всего 12,2-12,8. В этих же условиях среднее давление переднего колеса трактора ТТЗ-811 снижается с 78,0-113,3 до 15,3-52,8 килопаскаля. *(Выводы)* Определили, что уплотнение почвы передними колесами трактора можно снизить путем замены трактора с колесной формулой 3К2 на трактор с колесной формулой 4К2, а также вследствие увеличения скорости движения трактора.

Ключевые слова: уплотнение почвы, колесная формула трактора, шины с низким давлением, тензодатчик, давление на почву, пятно контакта.

■ Для цитирования: Ахметов А.А., Ахмедов Ш.А.У. Давление переднего колеса на почву тракторов с различной колесной формулой // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №1. С. 27-33. DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-1-27-33.

Study of Front Wheel Pressure on the Soil of Tractors with a Different Wheel Configuration

Adilbek A. Akhmetov¹,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: tractor-v@mail.ru;

Sherzodbek A. Akhmedov²,
acting general director

¹Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers, Tashkent, Republic of Uzbekistan;

²Design and Technology Center for Agricultural Engineering, Tashkent, Republic of Uzbekistan

Acknowledgements: Ministry of Innovation Development of the Republic of Uzbekistan, grants BF-1-023 and MB-Atech-2018-91.

Abstract. An increase in the power of the high-clearance tractor with the 3K2 wheel configuration (TTZ-811) and the weight of the machines coupled with it has led to an increase in the pressure of its running elements on the soil. The authors have proposed to replace it with a tractor with the 4K2 wheel configuration with an adjustable ground clearance (TTZ-1033), which has several advantages. (*Research purpose*) The study of the effect of the wheel configuration, travel speed and air pressure in the tire on the tractor's front wheel pressure on the soil. (*Materials and methods*) The authors have analytically determined the relationship between the contact area of a wheel tire with the soil on the tire parameters and the internal air pressure in it. To take measurements, load TAS607 sensors like with specially made nozzles have been used. (*Results and discussion*) It has been found that under similar conditions, the average pressure on the soil in the layer of 10-50 centimeters across the width of the front wheel tire of TTZ-811 is 19.0-27.6 kilopascals more as compared to TTZ-1033. It has been found that an increase in air pressure in the tire from 1.2 to 2.2 megapascals results in an increase in average front wheel pressure on the soil in the seed layer (0-10 centimeters) of the TTZ-1033 tractor from 61.9 to 70.8 kilopascals, and of the TTZ-811 tractor – from 63.5 to 79.3 kilopascals. It has been revealed that at a depth of 10 centimeters, the pressure of the front wheel of the TTZ-1033 tractor averaged 84.9-108.2 kilopascals, and at a depth of 50 centimeters – only 12.2-12.8 kilopascals. Under the same conditions, the average pressure of the TTZ-811 tractor's front wheel decreases from 78.0-113.3 to 15.3-52.8 kilopascals. (*Conclusions*) The authors have stated that soil compaction with the front wheels of a tractor can be reduced by replacing a tractor with a 3K2 wheel configuration with a tractor with a 4K2 wheel configuration, as well as by increasing the tractor speed.

Keywords: soil compaction, tractor wheel configuration, low pressure tires, strain gauge, soil pressure, contact patch.

For citation: Akhmetov A.A., Akhmedov Sh.A.U. Davlenie perednego kolesa na pochvu traktorov s razlichnoy kolesnoy formuloy [Study of front wheel pressure on the soil of tractors with a different wheel configuration]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N1. 27-33. DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-1-27-33 (In Russian).

По мере увеличения мощности трактора, производительности и массы агрегируемых с ним машин и орудий все в большей степени стали очевидны негативные стороны их воздействия на почву. В результате возросли противоречия между агротехнической необходимостью и отрицательным техногенным воздействием на почву, прежде всего это проявляется в уплотнении почвы ходовыми элементами трактора на большую глубину. По мере увеличения массы машинно-тракторных агрегатов и числа проходов их по полю происходит интенсивное разрушение строения почвы, увеличение ее плотности по следам колес трактора. В действительности оптимальная плотность почвы для возделывания зерновых и пропашных культур не должна превышать 1,2-1,3 г/см³ [1].

Уплотнение почвы приводит к замедлению развития корневой системы растений, что ограничивает использование питательных элементов и получение высокого урожая. Эта проблема усугубляется еще больше в хлопководческих хозяйствах, где основным энергетическим средством служат тракторы с колесной формулой 3К2 [2]. Как показали исследования, эти тракторы характеризуются негативными техногенными воздействиями на почву в связи с повышенным коэффициентом покрытия следами от колес (три следа вместо двух) и высоким уплотняющим воздействием от вертикальных нагрузок, распределяемых на три колеса вместо четырех [3-5]. Особую опасность представляет кумулятивный эффект переуплотнения почвы от повторяющихся воздействий движителей. Степень

уплотнения зависит от массы трактора, типа движителя, типа почвы и технологий [6-13]

Для устранения недостатков тракторов с колесной формулой 3К2 в СКБ «Трактор» проводятся НИОКР по разработке трактора с колесной формулой 4К2 и регулируемым клиренсом [2].

Цель исследования – изучить влияние колесной формулы, скорости движения и давления воздуха в шине на давление переднего колеса трактора на почву.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Исследования проводили на сероземах давнего орошения. Влажность и твердость почвы по слоям от 0-10 до 40-50 см составили, соответственно, 10,65-18,3% и 1,27-2,55 МПа.

Давление колесного движителя на почву определяли по ГОСТ 26953-86 и ГОСТ 7463-2003. Для замеров использовали силоизмерительные датчики типа TAS 607 со специальными насадками, которые воспринимают через почву давление от движителей и передают его на силоизмерительный стержень датчика. Выходной сигнал датчика по кабелю поступает на тензоусилитель и далее – на регистрирующую аппаратуру (рис. 1).

В ходе исследования изучали максимальное давление на почву переднего колеса по оси его симметрии и среднее давление на почву по ширине шины колеса.

Максимальное и среднее давление, создаваемое колесами движителей испытываемых тракторов на почву, измеряли на глубине 10; 20; 30; 40 и 50 см (рис. 2).

При измерении максимального давления колес

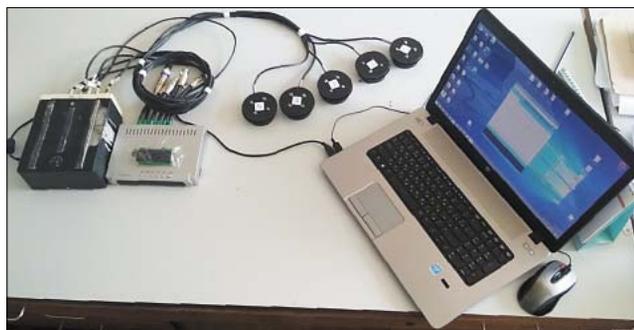


Рис. 1. Тензодатчики, усилитель и регистрирующая аппаратура

Fig. 1. Strain gauges, amplifier and recording equipment

трактора на почву на дно траншеи по ее продольной оси устанавливали на различной глубине (0,1; 0,2; 0,3; 0,4 и 0,5 м) пять датчиков на расстоянии не менее 0,5 м друг от друга.

При измерении среднего давления колес трактора на почву каждый раз на дно траншеи на одинаковой глубине (например, первый раз на глубине 0,1 м, второй раз – 0,2 м, третьей раз – 0,3 м и т.д.) по ширине шины колес устанавливали пять датчиков на расстоянии не менее 0,05 м друг от друга (рис. 3).

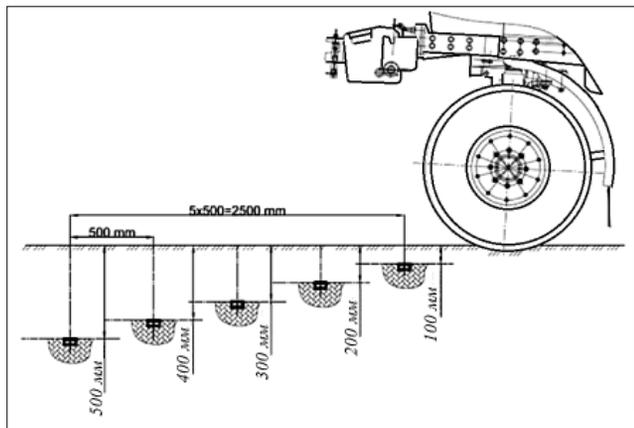


Рис. 2. Схема установки тензодатчиков для измерения максимального давления движителя испытываемых тракторов на почву на различной глубине

Fig. 2. Scheme of installing strain gauges for measuring the maximum pressure exerted on the soil by the moving elements of tested tractors at various depths

Траншею с датчиками засыпали почвой и слегка прикатывали до получения однородного слоя.

Давление на почву при проходе одного переднего и одного заднего колеса трактора по участку с установленными датчиками измеряли так, чтобы продольные линии колес совпадали с размеченной осевой линией.

Замеры проводили при движении трактора в режиме холостого хода, то есть без нагрузки на крюке. При этом из-за конструктивных отличий срав-

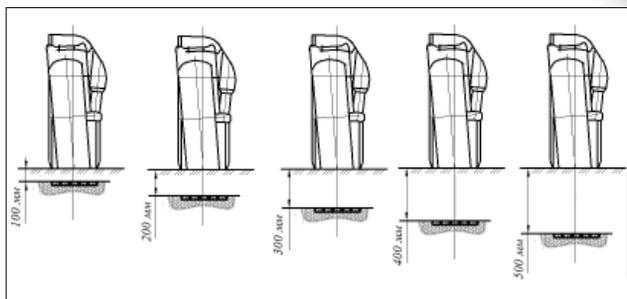


Рис. 3. Схема установки тензодатчиков для измерения среднего давления движителя испытываемых тракторов по ширине шины колес на почву на различной глубине

Fig. 3. Scheme of installing strain gauges for measuring the average pressure on the soil exerted by the moving elements of test tractors across the wheel tire width at various depths

нимаемых тракторов диапазон их рабочих скоростей несколько отличался, поскольку они имеют коробки перемены передач с различными скоростными рядами, следовательно, с различными минимальными и максимальными значениями рабочих скоростей, используемых при выполнении агротехнологических операций. Причем по техническим характеристикам диапазон рабочих скоростей у трактора ТТЗ-1033 более широк – 1,24-11,88 км/ч, тогда как у ТТЗ-811 этот предел несколько меньше – 1,9-11,7 км/ч.

В связи с вышеизложенным при проведении экспериментов установлены следующие рабочие скорости движения сравниваемых тракторов:

- ТТЗ-1033: 1,24; 1,66; 7,29 и 11,88 км/ч;
- ТТЗ-811: 1,9; 2,5; 7,4 и 11,7 км/ч.

Тарировку тензодатчиков и апробирование работы аппаратуры проводили в тензометрической лаборатории Научно-исследовательского института механизации и электрификации сельского хозяйства (Узбекистан).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. В ходе исследования по видам тракторов изменяли скорость движения и давление в шине колес.

Давление колес на почву зависит от величины нагрузки на колесо и площади пятна контакта, на которую, в свою очередь, влияют параметры шины и внутреннее давление в ней.

Площадь $S_{пл}$ плоской зоны контакта колеса с почвой имеет форму эллипса с полуосями a и $b_{пл}/2$ и равна $S_{пл} = \pi a b_{пл}/2$ (рис. 4).

Из расчетной схемы определяем величины полуосей эллипса – a и $b_{пл}$. Для существующих шин справедливо неравенство $2R_{пр}h_{ш} \gg h_{ш}^2$, а тем более $2Rh_{ш} \gg h_{ш}^2$, поэтому для упрощения вывода расчетных зависимостей величиной $h_{ш}^2$ можно пренебречь.

В этом случае величины полуосей эллипса равны:

$$a = \sqrt{2Rh_{ш}}, \tag{1}$$

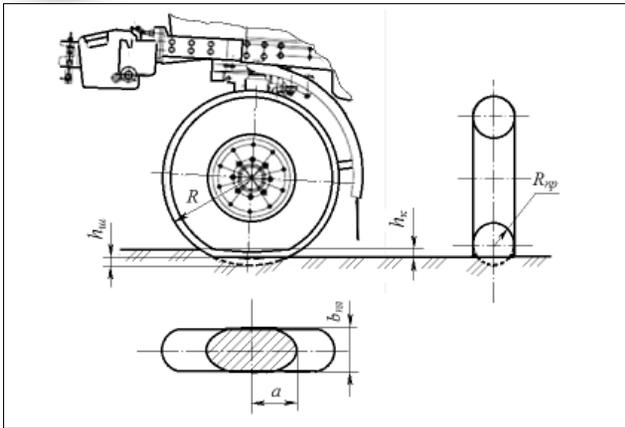


Рис. 4. Расчетная схема к определению площади пятна контакта

Fig. 4. Design scheme for determining the contact patch area of the wheel with the soil

$$b_{пл} = 2 \sqrt{2R_{шп} h_{ш}}, \quad (2)$$

где R – свободный радиус колеса, м;
 $R_{шп}$ – радиус протектора шины, м;
 $h_{ш}$ – нормальная деформация шины в пятне контакта, м.

Определим площадь пятна контакта $S_{пл}$:

$$S_{пл} = 2\pi h_{ш} \sqrt{RR_{шп}}. \quad (3)$$

В пределах реальных нагрузок G_n , действующих со стороны трактора на направляющее колесо, можно принять линейную зависимость между G_n и $h_{ш}$, которая описывается формулой Хейдекеля:

$$h_{ш} = \frac{G_n}{2\pi\rho_w \sqrt{RR_{шп}}}, \quad (4)$$

где ρ_w – избыточное давление воздуха в шине, МПа.

Глубину колеи направляющего колеса можно определить на основе функциональной зависимости, предложенной В.В. Кацыгиным, преобразовав ее после отражения напряжения в почве через G_n и $S_{пл}$:

$$h_k = \frac{\sigma_o \operatorname{Argth} \frac{G_n}{S_{пл} \sigma_o}}{k_o}, \quad (5)$$

где σ_o – предел прочности почвы на одноосное сжатие, МПа;

k_o – коэффициент объемного смятия, Н/м^3 .

Из выражений (3) и (4) видно, что площадь пятна контакта, воспринимающая нагрузку на колесо, зависит в основном от параметров шины и внутреннего давления воздуха в ней. Поэтому экспериментальные исследования для конкретного типоразмера шины были проведены при различных давлениях воздуха в шине: 1,2; 1,7 и 2, 2 МПа.

В результате получен обширный материал, ха-

рактеризующий давление движителей на почву в зависимости от вышеуказанных факторов и скорости движения тракторов. Результаты измерения давления движителей на почву на различной глубине в зависимости от скорости движения (соответствующие нижним и верхним пределам скорости движения в ходе выполнения технологических операций по возделыванию хлопчатника) при давлении в шине 1,7 МПа (рекомендованной ТЗ для тракторов марки ТТЗ) представлены в таблице 1.

Наибольшее давление колес движителей приходится на верхние слои почвы. Оно зависит от типа движителя, давления воздуха в шине и от скорости движения.

В поверхностном слое до 10 см при проходе трактора ТТЗ-1033 график максимальных значений давления на почву имеет один локальный экстремум – в зоне оси симметрии колеса, и при давлении в шине 1,7 МПа в зависимости от скорости движения трактора составляет 178,6-351,7 кПа. В этих же условиях для ТТЗ-811 характерна величина 256,0-623,2 кПа. Практически этот локальный экстремум соответствует максимальному значению давления на почву переднего колеса по его оси симметрии.

Увеличение скорости движения трактора ТТЗ-811 с 1,9 до 11,7 км/ч снижает максимальное давление переднего колеса на почву на глубине 10 см на 58,9%. Изменение скорости движения трактора ТТЗ-1033 с 1,66 до 11,88 км/ч уменьшает этот показатель на 49,22%.

С увеличением скорости движения, несмотря на снижение максимального давления переднего колеса трактора ТТЗ-811 на почву, оно остается более высоким по сравнению с трактором ТТЗ-1033 (рис. 5).

В обоих вариантах испытываемых тракторов как среднее, так и максимальное давление в слоях почвы 10-50 см соответствовало минимальной скорости движения и максимальному давлению в шине 2,2 МПа и составило: для трактора ТТЗ-811 – 30,1-197,6 кПа и 55,1-497,3 кПа; для трактора ТТЗ-1033 – 20,9-164,0 кПа и 42,11-428,9 кПа соответственно (табл. 2).

При схожих условиях низкой скорости движения (1,66 км/ч у ТТЗ-1033 и 1,9 км/ч у ТТЗ-811) среднее давление в слое 10-50 см по ширине шины переднего колеса на почву у трактора ТТЗ-811 (47,1-187,5 кПа) больше на 17,26-67,61% по сравнению с трактором ТТЗ-1033 (28,1-159,9 кПа).

При давлении воздуха в шине 1,7 МПа и повышенной скорости движения (11,88 км/ч у ТТЗ-1033 и 11,70 км/ч у ТТЗ-811) усредненное давление переднего колеса на почву в слое 10-50 см у ТТЗ-811 (28,0-77,5 кПа) больше по сравнению с ТТЗ-1033 (4,2-51,6 кПа).

В корнеобитаемом слое (10-20 см) почвы, наибо-



Таблица 1

Table 1

ДАВЛЕНИЕ ПЕРЕДНЕГО КОЛЕСА ТРАКТОРОВ ТТЗ-811 / ТТЗ-1033 НА ПОЧВУ ПРИ ДАВЛЕНИИ В ШИНЕ 1,7 МПа И НА РАЗЛИЧНЫХ СКОРОСТЯХ ДВИЖЕНИЯ, кПа
THE PRESSURE OF THE ТТЗ-811 / ТТЗ-1033 TRACTORS' FRONT WHEEL ON THE SOIL AT A TIRE PRESSURE OF 1.7 MPa AND AT VARIOUS SPEEDS, kPa

Глубина слоя почвы, см Soil layer depth, cm	Скорость движения, км/ч / Travel speed, km/h			
	1,90 / 1,66		11,70 / 11,88	
	среднее по ширине шины колеса Average across the wheel width	максимальное по оси симметрии колеса Maximum along the wheel symmetry axis	среднее по ширине шины колеса Average across the wheel width	максимальное по оси симметрии колеса Maximum along the wheel symmetry axis
10	187,5 / 159,9	623,2 / 351,7	77,5 / 51,6	256,0 / 178,6
20	134,6 / 126,3	284,3 / 350,9	52,0 / 38,0	90,9 / 99,3
30	134,2 / 112,2	278,7 / 206,2	47,4 / 27,1	65,5 / 49,8
40	129,7 / 49,0	163,0 / 98,8	28,0 / 9,0	65,4 / 26,9
50	47,1 / 28,1	145,4 / 72,8	22,5 / 4,2	46,6 / 8,1
Среднее / Average	126,6 / 95,1	298,9 / 216,1	45,5 / 26,0	104,9 / 72,5

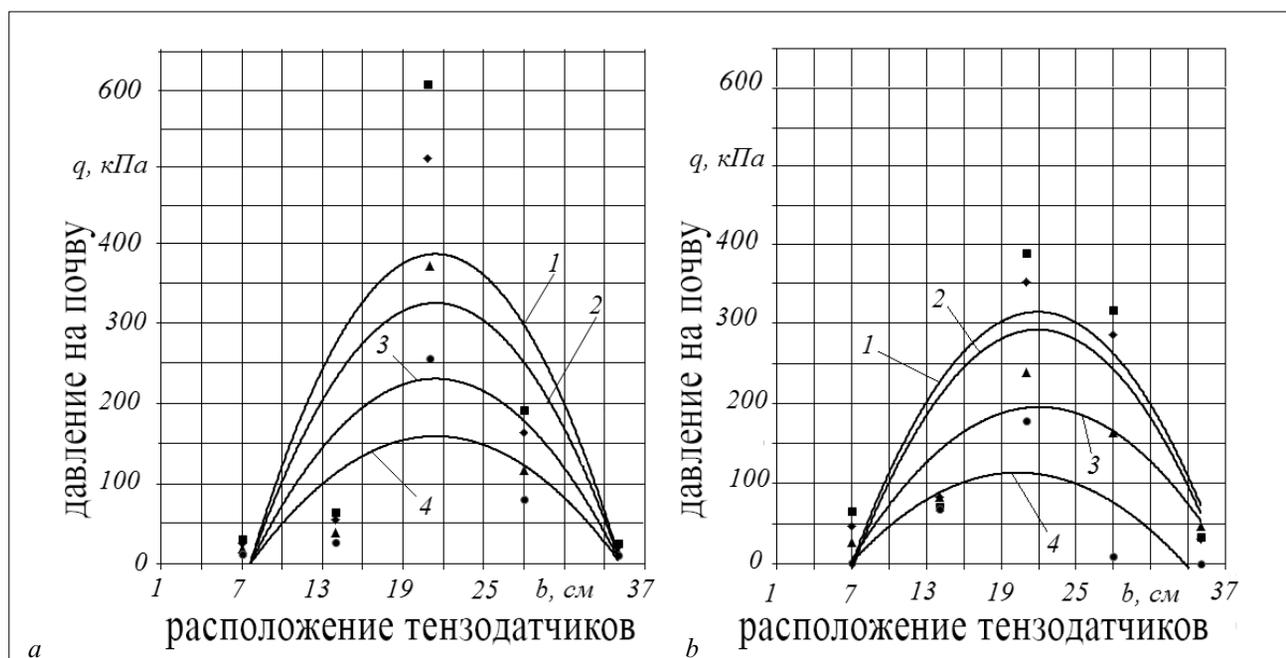


Рис. 5. Влияние скорости движения трактора на давление по ширине шины колес на почву:
 а – ТТЗ-811 (1 – 1,9; 2 – 2,5; 3 – 7,4 и 4 – 11,7 км/ч); б – ТТЗ-1033 (1 – 1,24; 2 – 1,66; 3 – 7,29 и 4 – 11,88 км/ч)
 Fig. 5. The tractor speed influence on the tire pressure on the soil: а – ТТЗ-811 (1 – 1.9; 2 – 2.5; 3 – 7.4 and 4 – 11.7 km/h); б – ТТЗ-1033 (1 – 1.24; 2 – 1.66; 3 – 7.29 and 4 – 11.88 km/h)

лее важным для роста и развития растений, с уменьшением скорости движения среднее давление на почву переднего колеса (при давлении в шине 1,7 МПа) возрастает у трактора ТТЗ-1033 с 38,0 до 126,3 кПа, а у трактора ТТЗ-811 – с 77,5 до 187,5 кПа. Чем больше давление воздуха в шине, тем сильнее колесо давит на почву.

Например, при скорости движения трактора 7,29 км/ч увеличение давления воздуха в шине от 1,2 до 2,2 МПа повышает среднее давление переднего колеса трактора ТТЗ-1033 на почву с 61,9 до 70,8 кПа. В этих же условиях среднее давление переднего колеса трактора ТТЗ-811 на почву возрастает в сред-

нем с 63,5 до 79,3 кПа. С увеличением глубины залегания почвы уплотняющее воздействие колес на нее снижается. Если при скорости движения 7,29 км/ч среднее давление переднего колеса трактора ТТЗ-1033 на почву на глубине 10 см было в пределах 84,9-108,2 кПа, то в этих же условиях на глубине 50 см оно составило всего 12,2-12,8 кПа, то есть снизилось в 6,9-8,4 раза. В этих же условиях среднее давление переднего колеса трактора ТТЗ-811 уменьшилось с 78,0-113,3 до 15,3-52,8 кПа, то есть в 1,4-7,4 раза. Несмотря на снижение давления воздуха в шине с 2,2 до 1,2 МПа, среднее давление на почву переднего колеса у трактора ТТЗ-811 выше

Таблица 2

Table 2

ДАВЛЕНИЕ ПЕРЕДНИХ КОЛЕС ТРАКТОРОВ НА ПОЧВУ ПРИ ДАВЛЕНИИ В ШИНЕ 2,2 МПа и ПРИ МИНИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ, кПа
 THE PRESSURE OF THE TRACTOR'S FRONT WHEELS ON THE SOIL WITH A TIRE PRESSURE OF 2.2 MPa AND WITH A MINIMUM SPEED, kPa

Глубина слоя почвы, см Soil layer depth, cm	Давление переднего колеса на почву The front wheel pressure on the soil			
	ТТЗ-811, скорость движения 1,9 км/ч tractor TTZ-811 with the 3×2 wheel configuration at the speed of 1.9 km/h		ТТЗ-1033, скорость движения 1,24 км/ч tractor TTZ-1033 with the 4×2 wheel configuration at the speed of 1.24 km/h	
	среднее по ширине шины колеса Average across the wheel width	максимальное по оси симметрии колеса Maximum along the wheel symmetry axis	среднее по ширине шины колеса Average across the wheel width	максимальное по оси симметрии колеса Maximum along the wheel symmetry axis
10	197,6	497,3	184,1	428,9
20	181,3	420,6	164,0	254,8
30	158,8	311,9	139,8	197,3
40	93,8	171,7	93,2	189,5
50	30,1	55,1	20,9	42,11
Среднее / Average	132,3	291,3	120,4	222,5

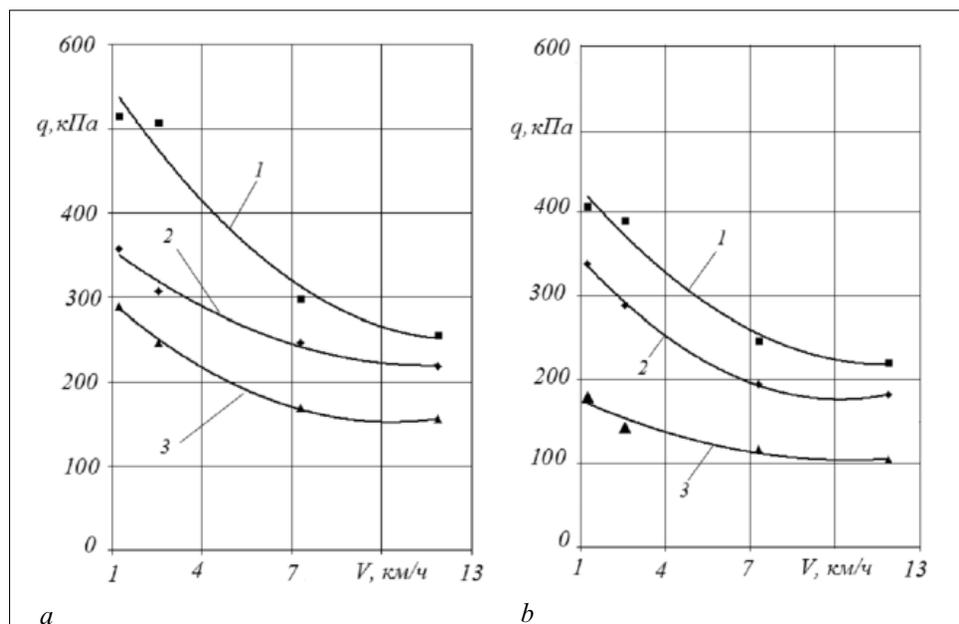


Рис. 6. Влияние скорости движения и давление в шине (1 – 2,2 МПа; 2 – 1,7 МПа и 3 – 1,2 МПа) на максимальное давление колес на почву:

a – трактор ТТЗ-811; b – трактор ТТЗ-1033

Fig. 6. Influence of the travel speed and tire pressure (1 – 2.2, 2 – 1.7 and 3 – 1.2 MPa) on the maximum wheel pressure on the soil

a – TTZ-811 tractor; b – TTZ-1033 tractor

в 1,3-1,6 раза по сравнению с трактором ТТЗ-1033 (рис. 6). Аналогичные закономерности прослеживаются для максимального давления на почву переднего колеса. Увеличение скорости движения трактора ТТЗ-811 с 1,9 до 11,7 км/ч снижает этот

Для минимизации отрицательного воздействия ходовой системы трактора на почву необходимо выполнять агротехнологические операции при скоростях движения трактора, соответствующих верхнему пределу исходных требований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Файнлейб А.М., Кутин Л.Н., Уткин-Любовцев О.Л. Ходовые системы тракторов. М.: Агропромиздат. 1986. 272 с.
2. Ахметов А.А. Универсально-пропашные тракторы для междурядной обработки посевов хлопчатника. Ташкент: Фан. 2017. 210 с.
3. Славкин В.И., Махмутов М.М., Горюнов С.В., Апа-

показатель на 41,8%, а у трактора ТТЗ-1033 при росте скорости движения от 1,24 до 11,88 км/ч – на 34,5%.

Выводы. С увеличением глубины слоя почвы и скорости движения трактора уплотняющее воздействие колес на почву снижается. Наибольшее давление движитель трактора оказывает в посевном (0-10 см) и корнеобитаемом (10-20 см) слоях почвы.

Снижение уплотняющего воздействия передних колес на почву возможно в результате замены трактора с колесной формулой 3К2 на трактор с колесной формулой 4К2, а также увеличения скорости движения трактора.



тенко А.С. Снижение уплотняющего воздействия агрегатов на почву // *Труды ГОСНИТИ*. 2017. Т. 126. С. 87-92.

4. Ахметов А.А., Ахмедов Ш.А., Каримов А.К. Специфические требования к хлопководческим тракторам – основа совершенствования их конструкции // *Международная агроинженерия*. 2016. Вып. 4(20). С. 29-34.

5. Гуськов В.В., Дзема А.А., Колола А.С., Макаренко Р.Ю., Зезетко Н.И. Исследование процесса взаимодействия ведущих колес трактора с грунтовой поверхностью // *Наука и техника*. 2017. Т. 16. №1. С. 83-88.

6. Золотаревская Д.И. Метод расчета показателей напряженно-деформированного состояния и уплотнения почвы при работе и после остановки колесного трактора // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016. №7-5. С. 754-763.

7. Гайнуллин И.А., Гайнуллин И.А., Хисаметдинов Р.Р., Ефимов А.В. Эффективность работы посевных комбинированных агрегатов // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2010. №3. С. 10-12.

8. Гайнуллин И.А., Зайнуллин А.Р. Влияние конструктивных параметров движителей и нагрузочных режимов тракторов на почву // *Фундаментальные исследования*. 2017. №2. С. 31-36

9. Водяник И.И. Работа колеса при многократных проходах по одному следу // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1982. №2. С. 34-36.

10. Карапетыан М.А. Воздействия движителей трактора на физические свойства почвы // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2008. №7. С. 50-51.

11. Захарченко А.Н., Балабанов В.И., Гаджиев П.И., Рамазанова Г.Г. Уплотнение почвы ходовыми системами тракторов класса 2.0 // *Тракторы и сельхозмашины*. 2013. №6. С. 33.

12. Махмутов М.М., Кондаурова Н.В. Тягово-сцепные свойства колесных машинно-тракторных агрегатов // *Научное обозрение. Технические науки*. 2016. №3. С. 70-71.

13. Гуськов В.В. Тракторы. Ч. II. Теория. Минск: Вышэйшая школа. 1977. 384 с.

REFERENCES

1. Faynleyb A.M., Kutin L.N., Utkin-Lyubovtsev O.L. Khodovye sistemy traktorov [Running gears of tractors]. Moscow: Agropromizdat. 1986. 272 (In Russian).

2. Akhmetov A.A. Universal'no-propashnye traktory dlya mezhduryadnoy obrabotki posevov khlopchatnika [Universal-row crop tractors for inter-row cultivation of cotton crops]. Tashkent: Fan. 2017. 210.

3. Slavkin V.I., Makhmutov M.M., Goryunov S.V., Apatenko A.S. Snizheniye uplotnyayushchego vozdeystviya agregatov na pochvu [Decreasing the packing impact of machine units on the soil]. *Trudy GOSNITI*. 2017. Vol. 126. 87-92 (In Russian).

4. Akhmetov A.A., Akhmedov Sh.A., Karimov A.K. Spetsificheskiye trebovaniya k khlopkovodcheskim traktoram – osnova sovershenstvovaniya ikh konstruktсии [Specific requirements for cotton tractors as a basis for improving their design]. *Mezhdunarodnaya agroinzheneriya*. 2016. Issue 4 (20). 29-34 (In Russian).

5. Gus'kov V.V., Dzema A.A., Kolola A.S., Makarenko R.Yu., Zezetko N.I. Issledovaniye protsessa vzaimodeystviya vedushchikh koles traktora s gruntovoy poverkhnost'yu [Study of the interaction between the tractor's driving wheels and the soil surface]. *Nauka i tekhnika*. 2017. Vol. 16. №1. 83-88 (In Russian).

6. Zolotarevskaya D.I. Metod rascheta pokazateley napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya i uplotneniya pochvy pri rabote i posle ostanovki kolesnogo traktora [Method of calculating the indicators of the stress-strain state and soil compaction in a wheeled tractor's operation and after its stopping]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i*

fundamental'nykh issledovaniy. 2016. №7-5. 754-763 (In Russian).

7. Gaynullin I.A., Gaynullin I.A., Khisametdinov R.R., Yefimov A.V. Effektivnost' raboty posevnykh kombinirovannykh agregatov [Efficiency of combined seeding units]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2010. №3. 10-12 (In Russian).

8. Gaynullin I.A., Zaynullin A.R. Vliyaniye konstruktivnykh parametrov dvizhiteley i nagruzochnykh rezhimov traktorov na pochvu [Influence of the design parameters of moving elements and loading modes of tractors on the soil]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2017. №2. 31-36 (In Russian).

9. Vodyanik I.I. Rabota kolesa pri mnogokratnykh prokhodakh po odnomu sledu [Wheel operation in repeated passes along the same track]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 1982. №2. 34-36 (In Russian).

10. Karapetyan M.A. Vozdeystviya dvizhiteley traktora na fizicheskiye svoystva pochvy [Effects of a tractor's moving elements on the physical properties of the soil]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2008. №7. 50-51 (In Russian).

11. Zakharchenko A.N., Balabanov V.I., Gadzhiev P.I., Ramazanova G.G. Uplotneniye pochvy khodovymi sistemami traktorov klassa 2.0 [Soil compaction with running gears of class 2.0 tractors]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2013. №6. 33 (In Russian).

12. Makhmutov M.M., Kondaurova N.V. Tyagovo-stsepnnye svoystva kolesnykh mashinno-traktornykh agregatov [Traction characteristics of wheeled machine-tractor units]. *Nauchnoe obozreniye. Tekhnicheskiye nauki*. 2016. №3. 70-71 (In Russian).

13. Gus'kov V.V. Traktory. Chast II. Teoriya [Tractors. Part II Theory]. Minsk: Vysheyshaya shkola. 1977. 384 (In Russian).

Conflict of interest. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 21.01.2019
The paper was submitted
to the Editorial Office on 21.01.2019

Статья принята к публикации 30.01.2019
The paper was accepted
for publication on 30.01.2019



Механико-технологическое обеспечение эффективности аридного земледелия

Олег Анатольевич Иванов¹,
кандидат технических наук,
врио директора института,
e-mail: oleg3077@yandex.ru;

Геннадий Леонидович Утенков²,
кандидат технических наук, профессор,
ведущий научный сотрудник;
Татьяна Екимовна Иванова¹,
кандидат сельскохозяйственных наук,
старший научный сотрудник

¹Научно-исследовательский институт аграрных проблем Хакасии, с. Зеленое, Усть-Абаканский район, Республика Хакасия, Российская Федерация;

²Сибирский федеральный научный центр агроботехнологий Российской академии наук, р.п. Краснообск, Новосибирская область, Российская Федерация

Реферат. Развитие животноводства в засушливой зоне юга Средней Сибири предопределяет необходимость интенсивного развития кормопроизводства, особенно производства грубых и сочных кормов. Орошаемое земледелие – один из важнейших факторов стабилизации и гарантированного производства продукции растениеводства. (*Цель исследования*) Подтвердить оценку параметров технологии поверхностного полива по широким длинным полосам с устройством безуклонных ложбин и нового технического ее обеспечения в аридных условиях юга Средней Сибири. (*Материалы и методы*) Определили технические параметры основных элементов временной поливной сети (безуклонной ложбины, водоудерживающего валика) при формировании участков поверхностного полива по результатам хронометражных измерений. Обеспечили технологический процесс формирования поливных участков с заданными техническими параметрами согласно эксплуатационно-технологической оценке испытания машинной технологии. Оценили результаты испытаний с помощью переносной информационно-измерительной системы ИП238МР для определения тяговых показателей машины по стандартам Ассоциации испытателей сельскохозяйственной техники и технологий СТО АИСТ 1.3-2007. (*Результаты и обсуждение*) Предложили технологию поверхностного полива по широким длинным полосам с устройством безуклонных ложбин. Рекомендовали ее для орошения зерновых, кормовых культур, естественных сенокосов и пастбищ. Разработали комплекс технических средств для строительства и эксплуатации систем поверхностного полива по широким длинным полосам с устройством безуклонных ложбин; орудия агрегируются с трактором марки МТЗ класса тяги 1,4 тонны. Технология поверхностного полива и комплекс машин прошли государственные испытания на Сибирской государственной зональной машиноиспытательной станции и рекомендованы для включения в базовую агротехнологию. (*Выводы*) Выявили, что комплексное применение новых машин Л-1.5, В-3.0 и ВП-4.0 при строительстве и эксплуатации оросительных систем позволяет сократить эксплуатационные затраты и сроки строительства поливных участков в 1,8 раза, повысить урожайность зеленой массы овса на 17,2 процента при снижении себестоимости возделывания на 10,1 процента. Производство зерна можно увеличить в 1,9 раза.

Ключевые слова: мелиорация, кормопроизводство, поверхностный полив, временная поливная сеть, безуклонная ложбина, водоудерживающий валик.

■ **Для цитирования:** Иванов О.А., Утенков Г.Л., Иванова Т.Е. Механико-технологическое обеспечение эффективности аридного земледелия // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №1. С. 34-40. DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-1-34-40.

Mechanical And Technological Support the Efficiency of Arid Farming

Oleg A. Ivanov¹,
Ph.D.(Eng.), acting director of the institute,
e-mail: oleg3077@yandex.ru;

Gennady L. Utenkov²,
Ph.D.(Eng.), professor, key research engineer;
Tatyana E. Ivanova¹,
Ph.D.(Agr.), senior research engineer



¹Research Institute of Agrarian Problems of Khakassia, Zelenoe Village, Ust-Abakan district, Republic of Khakassia, Russian Federation

²Siberian Federal Scientific Research Center for Agrobiotechnology, Krasnoobsk, Novosibirsk district, Novosibirsk region, Russian Federation

Abstract. The priority direction of agricultural production in the arid zone of the south of Central Siberia is animal husbandry, which predetermines the need for intensive development of feed production and, in particular, the production of rough and succulent forage. One of the most important factors of the stabilized and guaranteed crop production is irrigated land cultivation. (*Research purpose*) To prove the efficiency of machine technology of surface irrigation in the arid conditions of the south of Central Siberia. (*Materials and methods*) The authors have determined technical parameters of the main elements of the temporary irrigation network (non-inclined hollow and a water-retaining roller) during the formation of surface irrigation areas by the results of time-length observations made in accordance with the requirements of the testing station. The technological process of forming irrigated plots with specified technical parameters was carried out according to the operational and technological evaluation of the machine technology testing. The evaluation was carried out using a computer-based portable information-measuring system IP238MR to determine the traction indicators of the machine, carried out by the STO AIST 1.3-2007. (*Results and discussion*) The authors have proposed a technology of surface irrigation over wide long strips with level furrows, recommended for irrigation of grain, forage crops, natural hay making areas and pastures. A set of technical means has been developed for the construction and operation of surface irrigation systems in wide long lanes with level furrows. The tools can be coupled with an MTZ tractor of 1.4 tons. Comprehensive use of machines in the construction and operation of irrigation systems for surface irrigation as compared with existing machines in land reclamation construction allows to improve the quality of work and labor productivity by 3-5 times. Surface irrigation technology and a set of machines have passed state tests at the Siberian State Zonal Machine Testing Station and are recommended to be included in the basic agricultural technology. (*Conclusions*) It has been found that the integrated use of new machines L-1.5, V-3.0 and VP-4.0 in the construction and operation of irrigation systems allows reducing the operating costs and construction time of irrigated plots by 1.8 times, increase the yield of green mass of oats by 17.2 percent while reducing the cost of cultivation by 10.1 percent. Grain production can be increased by 1.9 times. **Keywords:** land improvement, forage production, surface irrigation, temporary irrigation network, level furrow, water-retaining roller.

For citation: Ivanov O.A., Utenkov G.L., Ivanova T.E. Mekhaniko-tekhnologicheskoe obespechenie effektivnosti aridnogo zemledeliya [Mechanical and technological support the efficiency of arid farming]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N1. 34-40. DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-1-34-40 (In Russian).

В рамках принятых Правительством Российской Федерации законов и программ, направленных на развитие мелиорации земель, повышение плодородия почв, обеспечение продовольственной безопасности, по решению коллегии Минсельхоза РФ разработана Концепция федеральной целевой программы «Развитие мелиорации земель России на период до 2020 года». Согласно инновационному варианту Концепции для достижения продовольственной безопасности России общая площадь мелиорируемых земель должна составить 10,3 млн га, что предусматривает выполнение работ по техническому переустройству орошаемых земель на площади 1,9 млн га, по реконструкции – 2,4 млн га, по новому строительству – 0,6 млн га с продуктивностью кормовых культур до 6,5 тыс. корм. ед. с 1 га. При этом возрастает роль экономии водных, энергетических и материально-технических ресурсов и улучшения экологической обстановки на орошаемых землях.

Эффективность возделывания зерновых в Си-

бирском федеральном округе (СФО) невысока, так как генетический потенциал яровых культур реализуется всего на 35-45% [1]. Повысить рентабельность растениеводства в регионе можно путем дополнительных финансовых вложений, направленных на улучшение использования биоклиматического потенциала территории [2]. Неустойчивость производства зерна и низкая его урожайность связаны с устаревшей технологией, которая без изменения используется многие годы [3]. Экономическая эффективность производства и его экологическая безопасность зависят от соединения трех компонентов: агроэкологических условий, требований культур и технологий возделывания [4]. В качестве интегрального показателя оценки эффективности принимают зерновой эквивалент [5]. Сибирский НИИ земледелия и химизации сельского хозяйства определил три уровня интенсивности агротехнологий возделывания зерновых культур, в соответствии с которыми предложена новая методика расчета урожайности [6]. Показано, что в условиях

СФО долевое участие природно-климатических условий в конечной величине урожайности, обеспечивающей получение максимума прибыли, должно быть не менее 56% [7].

Действенным документом для сельхозтоваро-производства и сельхозмашиностроения при проектировании машинных агротехнологий служит разработанная сотрудниками ВИМ система машин и технологий [8]. Для принятия решений по проектированию эффективных технических средств в агротехнологиях сформулирован глобальный критерий прибыли; определены условия обеспечения экстремума [9]. Полученные выражения позволяют обосновать выбор двух стратегий безубыточного возделывания зерновых культур.

Согласно первой стратегии по имеющейся точке безубыточности δY можно определить структуру и долевое участие затрат, оцениваемых величиной q :

$$q = \delta Y (\beta - 1),$$

где β – вновь создаваемая стоимость (относительная цена) производимой продукции;

$$\beta = 1,3-2,2 \text{ – для России;}$$

$\beta = 2,0-4,0$ – для развитых стран. Например, по данным Института почвоведения и агрохимии Сибирского отделения РАН, величина урожайности, обеспечивающая безубыточное возделывание зерновых культур в условиях Новосибирской области, составляет $\delta Y = 2,0$ т/га.

В соответствии со второй стратегией по известной структуре и долевым участию затрат q (они могут быть взяты из технологической карты на возделывание культуры), а также по рекомендуемой относительной цене β для условий России можно определить точку безубыточности δY :

$$\delta Y = q / (\beta - 1).$$

Стабильному и гарантированному производству продукции растениеводства в большей мере соответствует орошаемое земледелие [10-11]. В связи с этим особую значимость и актуальность приобретает использование орошаемых земель с применением сертифицированных инновационных технологий поверхностного полива и комплекса машин для его обеспечения. Однако существующие в мелиоративном строительстве технические средства высокзатратны и не соответствуют требуемому качеству выполненных работ. Совершенствованию технологий поверхностного полива посвящены результаты научных исследований, выполненные в Научно-исследовательском институте аграрных проблем Хакасии.

Цель исследования – экспериментально подтвердить оценку параметров технологии поверхностного полива по широким длинным полосам с

устройством безуклонных ложбин и нового технического ее обеспечения в аридных условиях юга Средней Сибири.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Экспериментальные исследования проводили на опытно-производственном участке поверхностного полива общей площадью 11 га на темно-каштановой слабоэродированной почве водопроницаемостью 98 мм/ч. Технические параметры основных элементов временной поливной сети (безуклонной ложбины, водоудерживающего валика) при формировании участков поверхностного полива определяли по результатам хронометражных наблюдений, выполненных в соответствии с требованиями машиноиспытательной станции. Технологический процесс формирования поливных участков с заданными техническими параметрами проводили согласно эксплуатационно-технологической оценке (ГОСТ 24055-88, ГОСТ 24057-88) испытания машинной технологии. При оценке использовали переносную информационно-измерительную систему ИП238МР для определения тяговых показателей машины по СТО АИСТ 1.3-2007 «Машинные технологии производства продукции растениеводства. Программа и методы испытаний».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Технология поверхностного полива по широким длинным полосам с устройством безуклонных ложбин (предложена В.Ф. Тютюкиным, а.с. № 206415) рекомендуется для орошения зерновых (пшеница, овес) и кормовых (кукуруза, многолетние травы) культур, естественных сенокосов и пастбищ, при регулярном орошении, лиманном орошении, основанном на местном стоке, и на земледельческих полях. Для полива необходимы отсутствие поперечных уклонов более 0,001 и наличие на орошаемом участке травостоя, дернины или стерни.

Технологию поверхностного полива по широким длинным полосам с устройством безуклонных ложбин используют для орошения однолетних культур (на поливных участках с уклоном от 0,007 до 0,040) и травосмесей многолетних трав (на поливных участках с уклоном до 0,080). Поливной участок образуют продольными водоудерживающими валиками проходимого для сельскохозяйственной техники поперечного профиля (высотой 0,25-0,30 м с заложением откосов 1:5), которые располагают параллельно друг другу на расстоянии 80-100 м по наибольшему уклону поверхности орошаемого участка (рис. 1).

Длина поливного участка в результате опытных поливов и с учетом принятой организацией орошаемой территории, рельефа местности и почвенно-мелиоративных условий может достигать 300-500 м. Безуклонные поперечные ложбины в данной технологии полива предназначены для более рав-

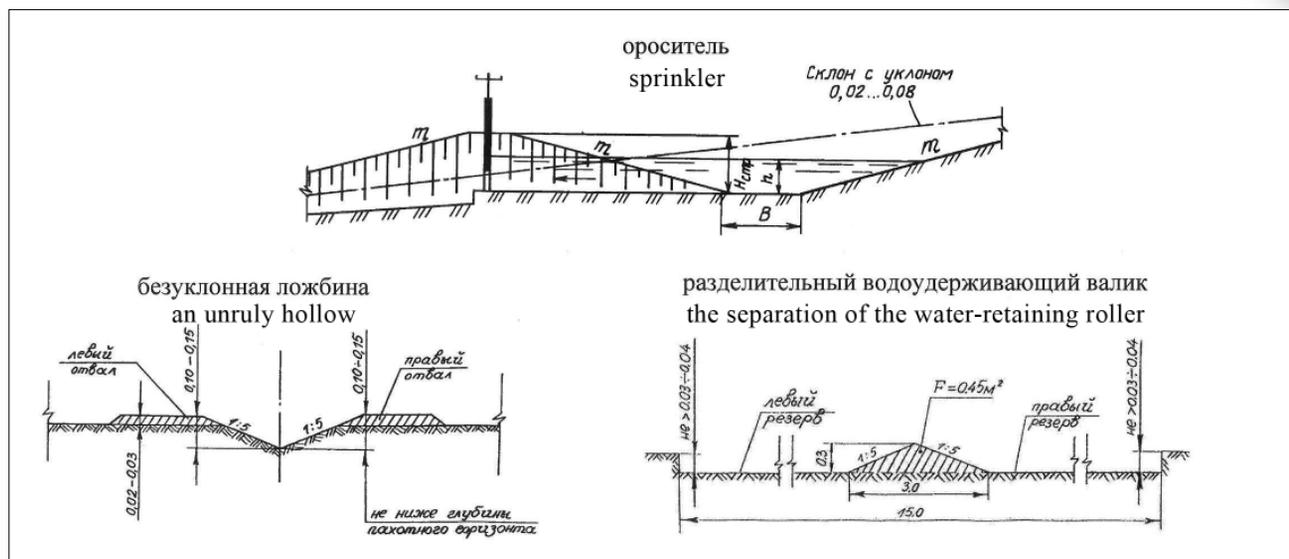


Рис. 1. Основные элементы оросительной системы поверхностного полива по широким длинным полосам с устройством безуклонных ложбин

Fig. 1. The main elements of the surface irrigation system on wide long strips with the device of level furrows

номерного распределения поливной воды. Ложбины, перехватывая струи, опережающие фронт поливной воды, изливают их широким фронтом на нижележащую часть полосы вниз по уклону; трассируются по горизонтали поперек поливных полос через каждые 40-60 м, имеют проходимый для сельскохозяйственной техники поперечный профиль (глубиной 0,10-0,15 м с заложением откосов 1:5).

Формирование поливных полос на площади 10 га предусматривает выполнение земляных работ объемом 4175 м³ без учета строительства подводящих оросительных каналов и сооружений на них. При этом 3000 м³ грунта перемещают при выравнивании поливного участка (глубиной среза почвы 3 см), 500 м³ – при нарезке безуклонных ложбин (общей длиной 2 км, поперечным сечением 0,25 м²), 675 м³ – при устройстве водоудерживающих валиков (общей длиной 1,5 км, поперечным сечением 0,45 м²) [12-13].

Технология поверхностного полива по широким и длинным полосам с устройством безуклонных ложбин позволяет реализовать режимы орошения зерновых и кормовых культур сплошного сева, естественных сенокосов и пастбищ. Учитывают, что на одной поливной полосе удельный расход составляет 2-3 л/(с·м), поливная норма – 700-900 м³/га, производительность труда поливальщика – до 1,5 га/чел.ч.

Исследования подтвердили возможность применения поверхностного полива по полосам с широким фронтом продвижения воды для реализации режимов орошения сельскохозяйственных культур, естественных сенокосов и пастбищ при среднем урожае сена многолетних трав до 5 т/га, дикорастущих трав – до 3 т/га.

Необходимым условием соблюдения технологической дисциплины поверхностного орошения служит качественная подготовка поверхности участка к поливу. К основным элементам технологии поверхностного полива по широким длинным полосам относят:

1) безуклонные ложбины (глубиной 0,10-0,15 м, заложением откосов 1:5), аккумулирующие часть поливного расхода воды для последующего равномерного распределения водного потока по поверхности поливного участка;

2) разделительные водоудерживающие валики (высотой 0,25-0,30 м, заложением откосов 1:5).

При этом необходимо обеспечить беспрепятственный проход сельскохозяйственных машин и орудий при выполнении технологических операций. Для формирования участков поверхностного полива по широким длинным полосам с устройством безуклонных ложбин разработали комплекс машин:

- ложбиноделатель Л-1,5 для нарезки безуклонных ложбин, шириной захвата в рабочем положении 1,5 м (рис. 2). С помощью зуба и лемехов агрегат заглубляется на 0,10-0,15 м и производит выемку грунта с заложением откосов 1:5, одновременно формирует левый и правый отвал за один проход (RU 2274982 C1);

- валиковосстановитель В-3,0 формирует водоудерживающий валик, разрушенный в результате агротехнических обработок почвы (вспашки, культивации); ширина захвата в рабочем положении – 2,5 м. С помощью лемехов орудие заглубляется до основания валика, собирает и стягивает грунт в верхнюю его часть, формируя профиль (высотой 0,25-0,30 м, с заложением откосов 1:5) за один проход (RU 2338347 C1) (рис. 3);



Рис. 2. Ложбиноделатель Л-1.5

Fig. 2. Furrow shaper L-1.5



Рис. 3. Валиковосстановитель В-3.0

Fig. 3. Roller reshaper V-3.0



Рис. 4. Выравниватель полунавесной ВП-4.0

Fig. 4. Semi-mounted equalizer VP-4.0

- выравниватель полунавесной ВП-4,0 выравнивает свальные гребни, развальные борозды на поверхности поливного участка; ширина захвата в рабочем положении – 4 м. Он устраняет неровности на поверхности поливного участка величиной до 0,10-0,12 м протяженностью до 13-15 м по существующим схемам (диагональным, диагонально-перекрестным, зигзагообразным или загонным способом) (RU 2238618 C2) (рис. 4).

Машины применяют в степных районах на всех почвах, за исключением каменистых, песчаных и просадочных типов грунтов второй степени. В диапазоне влажности почвы 8-28% и при твердости в обрабатываемом слое до 3,5 МПа техника обеспечивает удовлетворительное качество работы. Все машины агрегируются с тракторами МТЗ-80 тягового класса 1,4 и обслуживаются одним механизатором (таблица).

Урожайность зеленой массы овса сорта Сельма, выращенного по новой технологии, составила

Технические характеристики машин / Machine specifications			
Показатели / Indicators	Ложбиноделатель / Furrow shaper	Валиковосстановитель / Roller reshaper	Выравниватель / Leveller
Марка машины / Machine brand	Л-1,5	В-3,0	ВП-4,0
Тип машины / Machine type	навесная / mounted	навесная / mounted	полунавесная / semi-mounted
Производительность за 1 ч эксплуатационного времени / Productivity per 1 h of operating time: км / km га / ha	3,96-5,04 –	6,30-6,58 –	– 1,15-1,17
Рабочие скорости, км/ч / Operating speeds, km / h	7,1	9,1	6,9
Расход топлива, кг/ед. наработки / Fuel consumption, kg / unit. of groundwork	1,1-1,2	1,1-1,2	3,7-5,4
Потребляемая мощность, кВт / Power consumption, kW	18,1-21,3	15,6-22,1	4,7-5,6
Рабочая ширина захвата, м / Working width, m	1,5	2,5	4,0
Масса конструкционная, кг / Structural weight, kg	230	250	960



7,5 т/га, что на 2,1 т/га больше показателя, достигнутого при базовой технологии. А себестоимость возделывания оказалась заметно ниже – 395,80 против 440,12 руб./т.

Урожайность зерна овса достигла 1,8 т/га, в то время как средняя многолетняя продуктивность зерновых в Хакасии составляет 0,95 т/га. Разработанный комплекс машин обеспечивает повышение производительности и качества выполняемых работ в сравнении с серийно выпускаемыми мелиоративными агрегатами.

Выводы. Технология поверхностного полива по широким длинным полосам с устройством безуклонных ложбин отличается простотой технического исполнения, небольшими затратами средств и материалов на строительство, надежностью, высокой производительностью и экономией энерго-ресурсов. В технологии орошения заложены пред-

посылки для полной автоматизации полива с применением каскадного и дистанционного управления водоподачей и контроля за расходом воды.

Технология прошла государственные испытания и рекомендована Сибирской государственной зональной машиноиспытательной станцией (г. Омск) для включения в базовую агротехнологию.

Комплексное применение новых машин Л-1.5, В-3.0 и ВП-4.0 при строительстве и эксплуатации оросительных систем позволяет сократить эксплуатационные затраты и сроки строительства поливных участков в 1,8 раза, повысить урожайность зеленой массы овса на 17,2% при снижении себестоимости возделывания на 10,1%. Производство зерна можно увеличить в 1,9 раза

Новизна предлагаемых технических решений защищена пятью патентами РФ на изобретения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Булгаков Д.С., Рухович Е.А., Шишконокова Е.А., Вильчевская Е.В. Использование почвенно-климатического индекса при оценке агрономического потенциала пахотных земель в лесостепной зоне России // *Почвоведение*. 2018. N4. С. 473-485.
2. Романенко И.А. Проектирование эффективного сельского хозяйства с учетом агропотенциала // *Экономика сельского хозяйства России*. 2014. N1. С. 59-65.
3. Липкович Э.И. Экономические проблемы технического и технологического перевооружения сельского хозяйства России // *АПК: экономика, управление*. 2014. N5. С. 12-20.
4. Власенко А.Н. Совершенствование научных основ сибирского земледелия // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2009. N10. С. 27-35.
5. Полунин Г.А., Алакоз В.В., Черкашин К.И. Неиспользуемый земельный потенциал России и возможности продовольственного самообеспечения // *АПК: экономика, управление*. 2018. N6. С. 4-16.
6. Утенков Г.Л., Рапопорт Э.О. Метод оценки параметров машинных технологий возделывания зерновых культур // *Вестник Российской сельскохозяйственной науки*. 2017. N6. С. 22-27.
7. Утенков Г.Л. К оценке эффективности машинных технологий возделывания зерновых культур // *Фундаментальные исследования*. 2017. N12. Ч. 1. С. 229-233.
8. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Система машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства на период до 2020 г. // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2013. Т. 7. N6. С. 6-10.
9. Утенков Г.Л. Стратегия формирования машинных технологий возделывания сельскохозяйственных культур в условиях Сибири // *Вестник КрасГАУ*. 2010. N2. С. 123-127.
10. Савостьянов В.К. Использование земель сельскохозяйственного назначения в засушливых условиях юга Средней Сибири для ведения земледелия: рекомендации. Абакан: Издательство Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова. 2009. 12 с.
11. Черняев А.А., Ярославский В.А., Несмысленов А.П. Проблемы сохранения и развития оросительной мелиорации в Поволжье // *АПК: экономика, управление*. 2014. N5. С. 3-11.
12. Иванов О.А., Тютюкин В.Ф., Агибалов Б.И. Технические средства для эксплуатации оросительных систем поверхностного полива на юге Средней Сибири. Абакан: Журналист. 2010. 28 с.
13. Бейлис В.М., Ценч Ю.С., Старовойтов С.И., Кынев Н.Г. Тенденции развития прогрессивных машинных технологий и техники в сельскохозяйственном производстве // *Вестник ВИЭСХ*. 2018 N4(33). С. 150-156.

REFERENCES

1. Bulgakov D.S., Rukhovich E.A., Shishkonakova E.A., Vil'chevskaya E.V. Ispol'zovanie pochvenno-klimaticheskogo indeksa pri otsenke agronomicheskogo potentsiala pakhotnykh zemel' v lesostepnoy zone Rossii [Using the soil-climatic index in assessing the agronomic capacity of arable land in the forest-steppe zone of Russia]. *Pochvovedenie*. 2018. N4. 473-485 (In Russian).
2. Romanenko I.A. Proektirovanie effektivnogo sel'skogo khozyaystva s uchetom agropotentsiala [Designing an effective agriculture production system taking into account the land



- capacity]. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii*. 2014. N1. 59-65 (In Russian).
3. Lipkovich E.I. Ekonomicheskie problemy tekhnicheskogo i tekhnologicheskogo perevooruzheniya sel'skogo khozyaystva Rossii [Economic problems of technical and technological re-equipment of Russian agriculture]. *APK: ekonomika, upravleniye*. 2014. N5. 12-20 (In Russian).
4. Vlasenko A.N. Sovershenstvovanie nauchnykh osnov sibirskogo zemledeliya [Improving the scientific foundations of Siberian agriculture]. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 2009. N10. 27-35 (In Russian).
5. Polunin G.A., Alakoz V.V., Cherkashin K.I. Neispol'zuemyy zemel'nyy potentsial Rossii i vozmozhnosti prodovol'stvennogo samoobespecheniya [Unused land capacity of Russia and the possibility of increasing food self-sufficiency]. *APK: ekonomika, upravlenie*. 2018. N6. 4-16 (In Russian).
6. Utenkov G.L., Rapoport E.O. Metod otsenki parametrov mashynnykh tekhnologiy vozdeystviya zernovykh kul'tur [The method of estimating the parameters of machine technologies used in the cultivation of grain crops]. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 2017. N6. 22-27 (In Russian).
7. Utenkov G.L. K otsenke effektivnosti mashynnykh tekhnologiy vozdeystviya zernovykh kul'tur [To the effectiveness evaluation of machine technologies used in the cultivation of grain crops]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2017. N12. Part 1. 229-233 (In Russian).
8. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. Sistema mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii i avtomatizatsii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na period do 2020 g. [The system of machines and technologies for complex mechanization and automation of agricultural production for the period up to 2020]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2013. Vol. 7. N6. 6-10 (In Russian).
9. Utenkov G.L. Strategiya formirovaniya mashynnykh tekhnologiy vozdeystviya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v usloviyakh Sibiri [The formation strategy of machine technologies used in the cultivation of farm crops in the conditions of Siberia]. *Vestnik KrasGAU*. 2010. N2. 123-127 (In Russian).
10. Savost'yanov V.K. Ispol'zovaniye zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya v zasushlivykh usloviyakh yuga Sredney Sibiri dlya vedeniya zemledeliya: rekomendatsii [The use of land in arid conditions of the south of Central Siberia: some recommendations]. Abakan: Izdatel'stvo Khakasskogo gosudarstvennogo universiteta im. N.F. Katanova. 2009. 12 (In Russian).
11. Chernyaev A.A., Yaroslavskiy V.A., Nesmyslenov A.P. Problemy sokhraneniya i razvitiya orositel'noy melioratsii v Povolzh'e [Problems of the conservation and development of irrigation melioration in the Volga region]. *APK: ekonomika, upravleniye*. 2014. N5. 3-11 (In Russian).
12. Ivanov O.A., Tyutyukin V.F., Agibalov B.I. Tekhnicheskie sredstva dlya ekspluatatsii orositel'nykh sistem poverkhnostnogo poliva na yuge Sredney Sibiri [Technical means for the use of surface irrigation systems in the south of Central Siberia]. Abakan: Zhurnalist. 2010. 28 (In Russian).
13. Beylis V.M., Tsench Yu.S., Starovoytov S.I., Kynev N.G. Tendentsii razvitiya progressivnykh mashynnykh tekhnologiy i tekhniki v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve [Trends in the development of advanced machine technologies and techniques in agricultural production]. *Vestnik VIESH*. 2018. N4(33). 150-156 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 29.11.2018
The paper was submitted
to the Editorial Office on 29.11.2018

Статья принята к публикации 12.02.2019
The paper was accepted
for publication on 12.02.2019

Определение коэффициентов трения стеблей льна по характеристикам шероховатости

Виктор Григорьевич Черников¹,
доктор технических наук, профессор,
член-корреспондент Российской академии наук,
главный научный сотрудник,
vniiml@mail.ru;
Роман Анатольевич Ростовцев¹,
доктор технических наук, профессор Российской
академии наук, директор;

Роман Андреевич Попов²,
кандидат технических наук;
Владислав Юрьевич Романенко¹,
кандидат технических наук;
Андрей Анатольевич Ростовцев¹,
инженер

¹Федеральный научный центр лубяных культур, г. Тверь, Российская Федерация;

²Министерство сельского хозяйства Тверской области, г. Тверь, Российская Федерация

Реферат. При уборке льна-долгунца его стебли контактируют с рабочими органами льноуборочных машин. Выявили, что многообразие материалов для изготовления рабочих органов вызвало необходимость рассчитать коэффициенты трения при взаимодействии стеблей с этими материалами, так как сделать это опытным путем не всегда представляется возможным. Подтвердили возможность вычисления коэффициентов трения в комлевой, средней и верхушечной частях стебля. (*Цель исследования*) Рассчитать коэффициенты трения стеблей льна-долгунца по заданным характеристикам микрогеометрии их поверхности. (*Материалы и методы*) Исследования проводили на стандартном приборе профилограф-профилометр завода «Калибр», модель 201. В качестве исследуемого материала использовали лен-долгунец сорта Могилевский 2 в фазе бурой спелости, (влажность – 43,79 процента, общая длина стеблей – 78,9 сантиметра, урожайность льносоломы – 3,575 тонны с гектара). Растения льна-долгунца вытеребивали вручную на опытном поле в период уборки. В ходе подготовки опытных образцов стебель льна делили на три части – комлевую, среднюю и верхушечную. Каждую из частей стебля разделяли на две половины вдоль оси, затем одну из половин разворачивали и наклеивали на твердое основание (стальную пластину). Профилограммы частей стеблей льна обрабатывали по известным методикам. (*Результаты и обсуждение*) Получили коэффициенты трения стеблей разной влажности при их перемещении по стальной поверхности. Установили, что расчетные значения коэффициентов трения несколько превышают показатели, полученные в результате опыта. (*Выводы*) Установили, что с повышением влажности стеблей льна возрастает молекулярная составляющая коэффициента трения. Определили, что при влажности стеблей 20-45 процентов коэффициент трения колеблется в пределах от 0,38 до 0,98 процента.

Ключевые слова: льноуборочные машины, материалы рабочих органов, коэффициент трения стеблей льна, профилограмма.

■ **Для цитирования:** Черников В.Г., Ростовцев Р.А., Попов Р.А., Романенко В.Ю., Ростовцев А.А. Определение коэффициентов трения стеблей льна по характеристикам шероховатости // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №1. С. 41-47. DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-1-41-47.

Calculation of the Friction Coefficients of Flax Stems according to their Roughness Characteristics

Viktor G. Chernikov¹,
Dr.Sc.(Eng.), professor, corresponding member of the
Russian Academy of Sciences, chief researcher,
vniiml@mail.ru;
Roman A. Rostovtsev¹,
Dr.Sc.(Eng.), professor of the Russian Academy of
Sciences, director;

Roman A. Popov²,
Ph.D.(Eng.), head of department;
Vladislav Yu. Romanenko¹,
Ph.D.(Eng.), head of laboratory;
Andrey A. Rostovtsev¹,
engineer

¹Federal Research Center for Fibre Crops, Tver, Russian Federation;

²Ministry of Agriculture of the Tver Region, Tver, Russian Federation

Abstract. When harvesting flax, its stems get into contact with the working elements of flax harvesting machines. The authors have found that the diversity of materials used to manufacture the working elements made it necessary to calculate the friction coefficients in the interaction between the stems and these materials, since it is not always possible to do this experimentally. They confirmed the possibility of calculating the friction coefficients in the butt, middle and apical parts of the stem. (*Research purpose*) Calculation of the friction coefficients of flax stems according to the given microgeometry characteristics of their surface. (*Materials and methods*) The studies were carried out on a standard device, a profile meter-and-recorder made by the Kalibr plant, make 201. Common (fibre) flax of the Mogilevskiy 2 variety at the stage of brown ripeness, at a humidity - 43.79 percent, with total length of stems – 78, 9 cm and a flax straw yield of 3.575 tons per hectare were chosen for the experiments. The flax crop was harvested by hand on the experimental field during the harvesting period. During the preparation of experimental samples, the flax stem was divided into three parts - butt, middle and apical. Each of the stem parts was divided into two halves along the axis, then one of the halves was unrolled and pasted on a solid base (steel plate). Profile diagrams of flax stems parts of were processed with conventional methods. (*Results and discussion*) The authors have obtained the friction coefficients of the stems of different humidity as they moved along the steel surface. It has been established that the calculated values of the friction coefficients are slightly higher than those obtained as a result of experiments. (*Conclusions*) It has been established that as the humidity of flax stems increases, the molecular component of the friction coefficient increases too. It has been determined that when the moisture content of the stems is 20-45 percent, the friction coefficient values range from 0.38 to 0.98 percent.

Keywords: flax harvesting machines, materials of working elements, friction coefficient of flax stalks, profile diagram.

■ **For citation:** Chernikov V.G., Rostovtsev R.A., Popov R.A., Romanenko V.Yu., Rostovtsev A.A. Opredelenie koeffitsientov treniya stebly l'na po kharakteristikam sherokhovatosti [Calculation of the friction coefficients of flax stems according to their roughness characteristics]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N1. 41-47. DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-1-41-47 (In Russian).

В процессе уборки льна-долгунца его стебли контактируют с различными материалами, из которых изготовлены рабочие органы льноуборочных машин. При этом между ними возникают силы трения, зависящие от характеристики микрогеометрии поверхности стеблей льна. Характер контактной деформации стеблей льна неодинаков, так как различные взаимодействующие материалы резко отличаются по величине модуля упругости. Как известно, поверхность любого геометрического тела имеет макро- и микронеровности.

При контакте тел выступы более твердой поверхности цепляют и расплющивают неровности сопряженной более мягкой поверхности. На свойство контакта влияют микрогеометрия твердой поверхности и механические свойства более мягкого тела. В этом плане остается малоизученным взаимодействие деталей машин и стеблей льна-долгунца.

Исследуя взаимодействия материалов важно знать коэффициент трения [1]. Есть немало научных работ, посвященных изучению этого показателя при контактировании стеблей льна с различными материалами. Но все они носят практический характер, то есть значения коэффициентов трения получены опытным путем и только для ограниченного круга материалов. В связи с использованием в сельскохозяйственном машиностроении новых альтернативных материалов при изготовле-

нии рабочих органов возникла необходимость рассчитать коэффициенты трения при взаимодействии стеблей с этими материалами, так как сделать это опытным путем не всегда представляется возможным. Можно с достаточной точностью рассчитать значения этих показателей в каждой части стебля (комлевой, средней, верхушечной), зная характеристики микрогеометрии их поверхности.

Стебель льна совершает сложное движение по поверхности расстилочного стола с осуществлением поворота. По параметрам шероховатости и коэффициентам трения в разных частях стебля можно подобрать материал стола при его проектировании.

Цель исследования – рассчитать коэффициенты трения стеблей льна-долгунца по заданным характеристикам микрогеометрии их поверхности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Исследования проводили на стандартном приборе профилограф-профилометр завода «Калибр», модель 201. Принцип его работы основан на шуповом методе определения шероховатости поверхности. По поверхности перемещается игла малого радиуса закругления 2-10 мкм. Колебания иглы в вертикальном направлении повторяют неровности профиля и преобразуются в электрические сигналы. Они усиливаются, записываются в виде профилограммы или поступают в интегрирующее устройство, которое выдает ха-



рактические профили.

В профилографе игла скользит по шероховатой поверхности (рис. 1). Она соединена с якорем и может вместе с ним поворачиваться относительно призмы. При этом меняется зазор между сердечником и якорем, что приводит к изменению переменного тока в катушке. Ток через трансформатор поступает в усилитель, а оттуда на самописец и регистратор. Призма закреплена неподвижно относительно шаровой опоры. Поскольку шар имеет большой радиус кривизны, он скользит по вершинам микровыступов, опускаясь и поднимаясь в соответствии с имеющейся на поверхности микронеровностью.

Для проведения исследований на опытном поле в период уборки растения льна-долгунца вытеблевывали вручную, после чего их доставляли в лабораторию, где определяли длину и диаметр каждого стебля по известным методикам (Характеристики микрогеометрии, определяющие взаимодействие шероховатых поверхностей. М.: НИИМАШ. 1973). В ходе подготовки опытных образцов стебель льна делили на три части – комлевую, среднюю и верхушечную. Каждую из частей стебля разделяли на две половины вдоль оси, затем одну из половин разворачивали и наклеивали на твердое основание (стальную пластину).

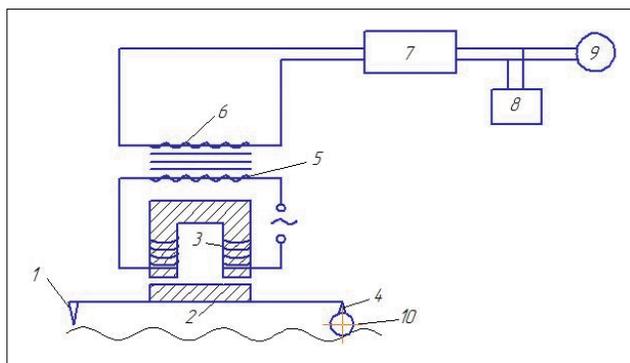


Рис. 1. Профилограф-профилометр завода «Калибр» мод. 201: 1 – игла; 2 – якорь; 3 – сердечник; 4 – призма; 5 – катушка; 6 – трансформатор; 7 – усилитель; 8 – самописец; 9 – регистратор; 10 – шаровая опора

Fig. 1. Profile recorder-and-meter made by the "Kalibr" plant, make 201: 1 – needle; 2 – armature; 3 – core; 4 – prism; 5 – coil; 6 – transformer; 7 – amplifier; 8 – recorder; 9 – recording device; 10 – ball bearing

В качестве исследуемого материала использовали лен-долгунец сорта Могилевский 2 в фазе бурой спелости, влажность – 43,79%, общая длина стеблей – 78,9 см, урожайность льносоломы – 3,575 т/га.

На профилографе-профилометре сняли профилограммы комлевой, средней и верхушечной части стеблей льна.

Результаты и обсуждение. Результаты микрогеометрии свидетельствуют о заметных различиях

Показатели Indicators	Часть стебля / Stem part		
	комлевая butt	средняя middle	верхушечная apical
Среднее отклонение профиля R_a , мкм Average deviation of the profile R_a , μm	1,02	0,96	0,96
Расстояние от линии выступов до линии впадин, R_{max} , мкм Distance from the line of protrusions to the line of troughs, R_{max} , μm	7,02	6,50	11,25
Расстояние от линии выступов до средней линии, R_p , мкм Distance from the line of protrusions to the midline, R_p , μm	3,75	3,75	6,50
Радиус кривизны вершин выступов, r_b , мкм Curvature radius of the peaks of protrusions, r_b , μm	288,00	221,00	87,00
Относительная длина по средней линии, t_c , мкм Relative length along the midline, t_c , μm	0,44	0,47	0,47
Средний шаг неровностей, t_n , мкм Average step irregularities, t_n , μm	62,70	40,00	44,30
Параметры опорной кривой*: Reference curve parameters*: v	2,20	2,60	2,90
	b	1,80	1,80
Комплексная характеристика, учитывающая остроту выступов и их распределение по высоте, Δ Complex characteristic taking into account the sharpness of protrusions and their height distribution, Δ	0,019	0,024	0,095

* v, b – параметры степенной аппроксимации начальной части опорной кривой
* v, b – parameters of power approximation of the initial part of the reference curve

показателей в разных частях стебля (таблица).

Среднее арифметическое отклонение профиля R_a определяли непосредственно по шкале профилографа-профилометра.

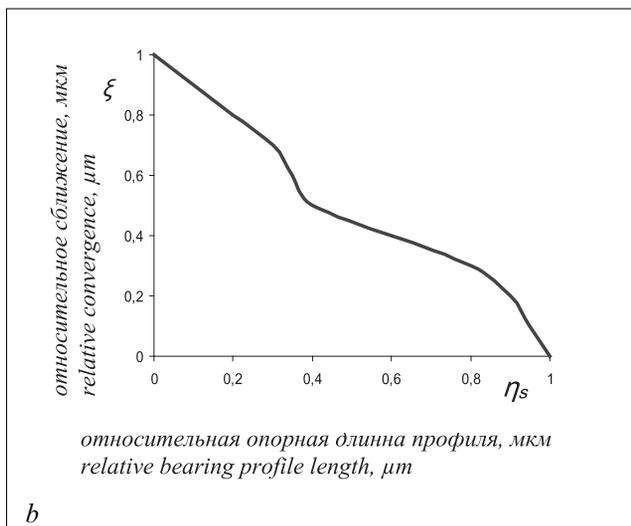
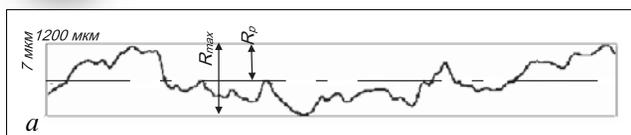


Рис. 2. Характерная профилограмма (а) и опорная кривая поверхности (б) комлевой части стебля льна-долгунца
 Fig. 2. Characteristic profile diagram (a) and the support curve of the butt end surface (b) of the flax stem.

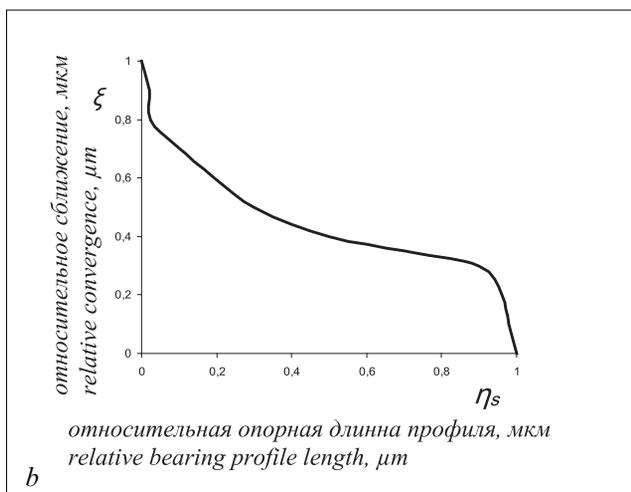
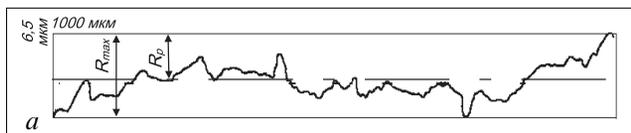


Рис. 3. Характерная профилограмма (а) и опорная кривая поверхности (б) средней части стебля льна-долгунца
 Fig. 3. Characteristic profile diagram (a) and the support curve of the middle part surface (b) of the flax stem

Комплексную характеристику, учитывающую остроту выступов и их распределение по высоте, вычислили по формуле:

$$\Delta = R_{\max}/r_a b^{1/v}, \quad (1)$$

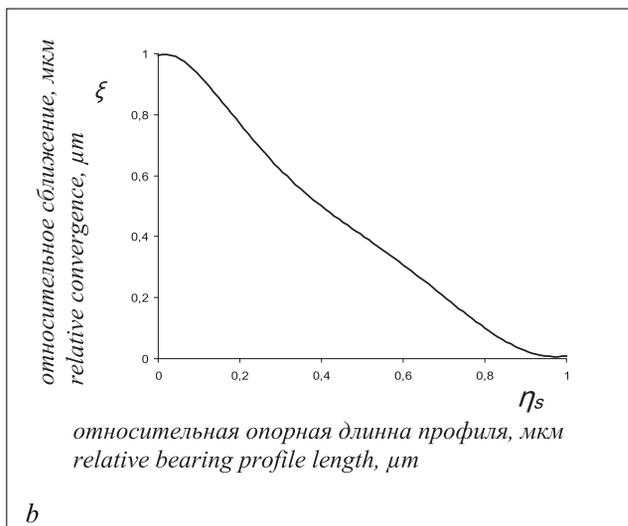
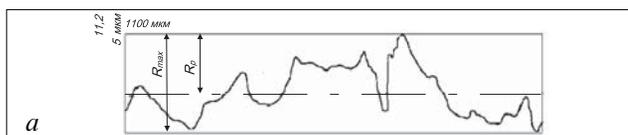


Рис. 4. Характерная профилограмма (а) и опорная кривая поверхности (б) верхушечной части стебля льна-долгунца (вертикальное увеличение в 20 раз больше горизонтального)
 Fig. 4. Characteristic profile diagram (a) and the support curve of the apical part surface (b) of the flax stem (the vertical magnification is 20 times larger than the horizontal one)

где R_{\max} – расстояние от линии выступов до линии впадин;

b и v – параметры степенной аппроксимации начальной части опорной кривой, построенной в относительных величинах.

Построим опорные кривые для комлевой, средней и верхушечной части стебля и определим их параметры b и v (рис. 2-4).

В ходе исследования выявили, что параметры шероховатости распределяются неравномерно по длине стебля.

Наибольшие значения отмечены в верхушечной его части, а в комлевой и средней они примерно одинаковы.

Наука о трении основывается на представлении о двойственной природе фрикционного взаимодействия: молекулярной и механической [2].

Коэффициент трения состоит из молекулярной (адгезионной) и механической (деформационной) составляющих:

$$f = f_m + f_d, \quad (2)$$

где f_m – молекулярная составляющая коэффициента трения;

f_d – механическая составляющая коэффициента трения.

Молекулярную составляющую коэффициента трения можно определить по формуле [3]:



$$f_m = CN_1^{-1/4} + \beta_0, \quad (3)$$

где N_1 – нормальная погонная нагрузка, Н/м;

C – величина, равная:

$$C = \frac{1,67R^{1/4}(r_0/t_n)^{1/2}}{E_{1n}^{1/4}E_{2n}^{1/2}}\tau_0, \quad (4)$$

где R – радиус стебля, мм;

τ_0 и β_0 – молекулярные константы трения;

E_{1n}, E_{2n} – приведенные модули упругости стеблей льна и контртела (модули контактной деформации), кПа. Необходимые справочные данные для ее расчета молекулярной составляющей подробно представлены в [3].

При расчете коэффициентов трения необходимо знать погонную нормальную нагрузку N_1 , действующую со стороны ленты на поверхность при их взаимодействии. Исходя из того, что лента стеблей находится в свободном состоянии, то есть без давления на нее. Тогда N_1 будет определяться весом стеблевой массы:

$$N_1 = \frac{i_n \cdot m_c}{n_{cm} \cdot L_{cm}}, \quad (5)$$

где i_n – число стеблей на единице длины ленты, шт./м;

m_c – масса одного стебля, кг;

n_{cm} – число стеблей в нижнем слое ленты, шт.;

L_{cm} – общая длина стеблей в ленте, м.

Допустим, что при транспортировании ленты по расстилочному щиту стебли нижнего ряда по всей длине контактируют с его поверхностью. Тогда общую длину всех стеблей, находящихся в контакте, можно определить из уравнения:

$$L_{ст} = \lambda_0 i_{n0} l_{ст}, \quad (6)$$

где λ_0 – коэффициент, учитывающий плотность укладки стеблей в ленте;

i_{n0} – число стеблей на 1 м длины ленты при их укладке, шт./м;

$l_{ст}$ – средняя длина стеблей, м.

Лента стеблей формируется в теребильном аппарате, поперечном и зажимном транспортере льноуборочного комбайна. Важной характеристикой ленты считается число стеблей на единицу ее длины. На примере льноуборочного комбайна ЛК-4А рассчитаем число стеблей в формируемой им ленте. Число стеблей в ручьях теребильных секций:

$$i_n = B \cdot i_0 \cdot J \cdot \frac{V_M}{V_P}, \quad (7)$$

где B – ширина захвата теребильной секции, м;

i_0 – густота стеблестоя (число стеблей на i -м участке поля), шт./м;

J – число ручьев теребильных секций, из которых сформирована лента, шт.;

V_M – скорость движения машины, м/с;

V_P – скорость теребильных ремней, м/с.

Обозначим толщину ленты стеблей через h_1 , тогда площадь поперечного сечения стеблей в ленте длиной 1 м будет равна h_1 м². Площадь сечения стебля равна πR^2 . Коэффициент заполнения сечения стеблей в ленте, представляющий собой отношение живого сечения стеблей по всей площади сечения ленты длиной 1 м, будет равен:

$$\lambda_p = \frac{i_n \cdot \pi \cdot R^2}{h_1}. \quad (8)$$

Слой стеблей льна в свободном состоянии (без давления на него), характеризующийся коэффициентом заполнения сечения λ_0 , находится в пределах 0,15-0,20 [4, 5].

Подставив λ_0 в (7) вместо λ_p и решая полученное уравнение относительно h_1 , получим:

$$h_1 = \frac{\pi \cdot i_n \cdot R^2}{\lambda_0}. \quad (9)$$

Толщина ленты характеризуется также числом рядов стеблей в ней при плотной их укладке вдоль ленты. Обозначим ее как $n_c = i_n/i_{п0}$.

Тогда:

$$n_c = 2i_n R. \quad (10)$$

Рассчитаем погонную нагрузку при контактировании ленты с расстилочным столом. Примем $B = 0,38$ м; $i_0 = 1400$ шт./м²; $J = 4$; $V_M = 2,0$ м/с; $V_P = 3,08$ м/с; $m_c = 0,0015$ кг; $R = 0,001$ м; $l_{ст} = 1$ м.

Тогда погонная нагрузка $N_1 = 22,3$ Н/м.

Зная параметры микрогеометрии поверхности стебля льна-долгунца по всей его длине и параметры шероховатости стали как наиболее твердого материала пары, расчетным путем определим значения коэффициентов трения стеблей в комлевой, средней и верхушечной части при взаимодействии с гладкой стальной поверхностью.

Величины C, β_0 и E_n зависят от влажности стеблей w .

Таким образом, воспользовавшись формулами (3) и (4), проведем оценку молекулярной составляющей коэффициента трения для стеблей влажностью 20; 32 и 45% (рис. 5).

При $w = 20\%$:

$$f_1 = 0,60; f_2 = 0,63; f_3 = 0,38.$$

При $w = 32\%$:

$$f_1 = 0,80; f_2 = 0,84; f_3 = 0,51.$$

При $w = 45\%$:

$$f_1 = 0,94; f_2 = 0,98; f_3 = 0,82,$$

где f_1, f_2, f_3 – значения коэффициентов трения, соответственно, в комлевой, средней и верхушечной частях стебля.

Расчетные значения коэффициентов трения несколько превышают показатели, полученные в ре-

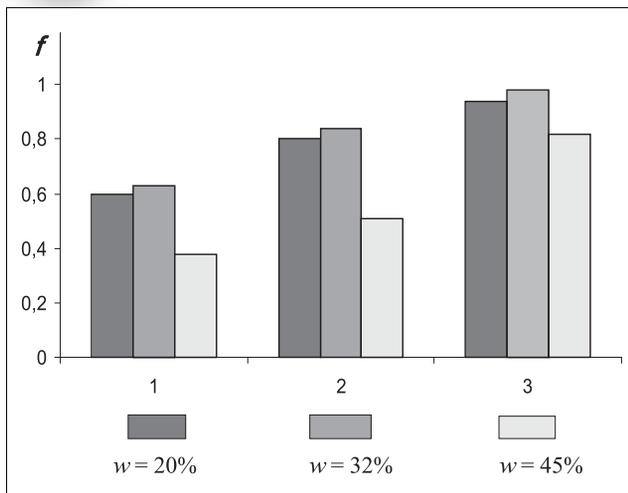


Рис. 5. Коэффициенты трения по длине стебля при различной влажности:

1 – комлевая часть стебля; 2 – средняя; 3 – верхушечная

Fig. 5. Diagram of changes in the friction coefficients along the stem length:

1 – butt end of the stem; 2 – middle part of the stem; 3 – apical end of the stem

зультате опыта [6-10]. Это объясняется тем, что после отсыхания листьев в местах их роста на стеблях остаются выпуклости, и при определении коэффициента трения опытным путем контакт стебля с контртелом осуществляется в первую очередь на этих выступах, вследствие чего уменьшаются площадь контакта и сам коэффициент.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Попов Р.А. Расчет коэффициентов трения при взаимодействии стеблей льна-долгунца с различными материалами // *Достижения науки и техники АПК*. 2006. №4. С. 20-21.
2. Буше Н.А., Демкин Н.Б., Чичинадзе А.В. и др. Основы трибологии (трение, износ, смазка). М.: Машиностроение. 2001. 663 с.
3. Беркович И.И., Крюков М.В., Родионов Л.В., Морозова Ю.И. Контактное трение и трение стеблей льна в льноуборочных машинах // *Механика и физика фрикционного контакта*. Тверь: ТГТУ. 2003. С. 6-17.
4. Ковалев Н.Г., Хайлис Г.А., Ковалев М.М. Сельскохозяйственные материалы (виды, состав, свойства). М.: ИК «Родник», *Аграрная наука*. 1998. 208 с.
5. Хайлис Г.А. Механика растительных материалов. Киев. 1994. 332 с.
6. Хайлис Г.А., Ковалев М.М. О свойствах сельскохозяйственных материалов, учитываемых при создании новой техники // *Тракторы и сельхозмашины*. 2013. №8. С. 3-4.
7. Черников В.Г., Ростовцев Р.А., Романенко В.Ю., Пучков Е.М. Влияние характеристик условий работы на надежность и точность выполнения технологических процессов льноуборочными машинами // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2016. №4. С. 9-11.
8. Черников В.Г. Коэффициент трения льносоломки и льнотресты // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1967. №12. С. 21-22.
9. Черников В.Г. Машины для уборки льна (конструкция, теория, расчет). М.: ИНФРА-М, 1999. 210 с.
10. Быков Н.Н., Ковалев М.М. Зависимость коэффициента трения стеблей льна от скорости скольжения // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 1985. №12. С. 22-24.

REFERENCES

1. Popov R.A. Raschet koeffitsientov treniya pri vzaimodeystvii stebley l'na-dolguntsa s razlichnymi materialami [Calculation of friction coefficients in the interaction of common flax stems with various materials]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2006. №4. 20-21 (In Russian).
2. Bushe N.A., Demkin N.B., Chichinadze A.V., et al. Osnovy



tribologii (trenie, iznos, smazka) [Fundamentals of tribology (friction, wear, lubrication)]. Moscow: Mashinostroenie. 2001. 66 (In Russian).

3. Berkovich I.I., Kryukov M.V., Rodionov L.V., Morodova Yu.I. Kontaktirovanie i trenie stebly l'na v l'nouborochnykh mashinakh [Contacting and friction of flax stalks in flax harvesting machines]. Mekhanika i fizika friktsionnogo kontakta. Tver': TGTU. 2003. 6-17 (In Russian).

4. Kovalev N.G., Khaylis G.A., Kovalev M.M. Sel'skokhozyaystvennye materialy (vidy, sostav, svoystva) [Agricultural materials (types, composition, properties)]. Moscow: IK "Rodnik", Agrarnaya nauka. 1998. 208 (In Russian).

5. Khaylis G.A. Mekhanika rastitel'nykh materialov [Mechanics of plant materials]. Kiev: 1994. 332 (In Russian).

6. Khaylis G.A., Kovalev M.M. O svoystvakh sel'skokhozyaystvennykh materialov, uchityvaemykh pri sozdanii novoy tekhniki [On properties of agricultural materials relevant for developing new technology]. Traktory i sel'khoz mashiny. 2013. N8. 3-4 (In Russian).

7. Chernikov V.G., Rostovtsev R.A., Romanenko V.Yu., Puchkov E.M. Vliyanie kharakteristik usloviy raboty na nadezhnost' i tochnost' vypolneniya tekhnologicheskikh protsessov l'nouborochnymi mashinami [Influence of the characteristics of working conditions on the reliability and accuracy of technological processes performed by flax harvesting machines]. Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva. 2016. N4. 9-11 (In Russian).

8. Chernikov V.G. Koeffitsient treniya l'nosolomki i l'notresty [The coefficient of friction of flax and flax straw]. Traktory i sel'skokhozyaystvennye mashiny. 1967. N12. 21-22 (In Russian).

9. Chernikov V.G. Mashiny dlya uborki l'na (konstruktsiya, teoriya, raschet) [Flax harvesting machines (construction, theory, calculation)]. Moscow: INFRA-M. 1999. 210 (In Russian).

10. Bykov N.N., Kovalev M.M. Zavisimost' koeffitsiyenta treniya stebly l'na ot skorosti skol'zheniya [Relationship between the friction coefficient of flax stalks and the sliding speed]. Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva. 1985. N12. 22-24 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 14.12.2018
The paper was submitted
to the Editorial Office on 14.12.2018

Статья принята к публикации 04.02.2019
The paper was accepted
for publication on 04.02.2019

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

осуществляет подготовку
**на бюджетные и платные места
в аспирантуру и магистратуру**

высшее образование – программа подготовки научно-педагогических кадров

Лицензия №2498 от 15.02.2016

Государственная аккредитация №2475 от 19 января 2017 года

Адрес института: 109428, Москва, 1-й Институтский проезд, 5.

Телефон для справок: 8 (499) 709-33-68

Рабочие органы горизонтально-конвейерного типа для сгребания травяной массы

Петр Александрович Еремин¹,

научный сотрудник,
e-mail: 9153600311@mail.ru;

Владимир Васильевич Михеев¹,

кандидат технических наук, ведущий специалист;

Арсен Хасанбиевич Текушев¹,

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник;

Михаил Юрьевич Костенко²,

доктор технических наук, профессор;

Валентин Петрович Еремин³, аспирант

¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;

²Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, г. Рязань, Российская Федерация;

³Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), Москва, Российская Федерация

Реферат. Горизонтально-конвейерные рабочие органы граблей применяют для увеличения производительности, снижения металлоемкости и улучшения качества сгребания. Такой тип рабочего органа перспективен для использования в конструкциях сеноуборочных машин (грабель, сдваивателей валков) и в подбирающих устройствах пресс-подборщиков. Провели исследования существующих конструкций граблей и с помощью 3D-модели спроектировали рабочий орган горизонтально-конвейерного типа для сгребания скошенной травы. (*Цель исследования*) Изучить конструкции граблей и получить данные по проектированию рабочего органа горизонтально-конвейерного типа для сгребания подвяленной травяной массы. (*Материалы и методы*) Применили аналитический метод с использованием компьютерного 3D-моделирования. Задачи анализа прочности решали методом конечных элементов. Провели расчет граблины на прочность и долговечность. Разработали деталь в системе автоматизированного проектирования Solid Works с помощью стандартных программ конечных элементов. (*Результаты и обсуждение*) Изучили основной элемент исходной конструкции – рабочий орган в виде бесконечного узкого клинового ремня, на кронштейнах которого закреплены граблины с пружинным основанием. Разработали и предложили специальное устройство для предотвращения сброса ремня. Проанализировали конструкцию и выявили ряд ее существенных недостатков. В ходе расчетов установили, что вблизи мест закрепления возникают максимальные напряжения, равные приблизительно 545 мегапаскалей. Максимальная упругая деформация граблины составляет 2,1 миллиметра. Предложили схему закрепления граблины на широком ремне, которая позволяет исключить применение устройства, предотвращающего сброс ремня при столкновении граблины с препятствием. Тем самым значительно упростили конструкцию сгребющего органа. Рассчитали, что вес граблины снизился на 0,6 килограмма, а общий вес рабочего органа – на 14,4 килограмма. (*Выводы*) Получили данные, на основе которых доказали, что предлагаемая разработка позволит снизить вес, энергоемкость и себестоимость производства машины.

Ключевые слова: заготовка зеленых кормов, сгребание травяной массы, горизонтально-конвейерные грабли, граблина, метод конечных элементов, оптимизация конструктивных и прочностных параметров.

Для цитирования: Еремин П.А., Михеев В.В., Текушев А.Х., Костенко М.Ю., Еремин В.П. Рабочие органы горизонтально-конвейерного типа для сгребания травяной массы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №1. С. 48-52. DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-1-48-52.

Working Element of a Horizontal Conveyor Type for Grass Raking

Petr A. Eremin¹,

research engineer,
e-mail: 9153600311@mail.ru;

Vladimir V. Mikheev¹,

Ph.D.(Eng.), key expert;

Arsen Kh. Tekushev¹,

Ph.D.(Eng.), senior research engineer;

Mikhail Yu. Kostenko²,

Dr.Sc.(Eng.), professor;

Valentin P. Eremin³, postgraduate student

¹Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation;

²Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russian Federation;

³Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Moscow, Russian Federation

Abstract. Horizontal conveyor working elements are used to increase productivity, reduce metal consumption and improve the quality of raking. This type of working element is promising for use in the design of hay-harvesting machines (rakes and roll doublers) and pick-up devices in balers. The authors have conducted research on the existing rake designs and using a 3D-model designed a working element of a horizontal conveyor type for cut grass raking. (*Research purpose*) Studying the rake design to obtain data on the design of the working element of a horizontal conveyor type for dried grass raking. (*Materials and methods*) The authors have used the analytical method and the 3D-modelling. The tasks of strength analysis were solved using standard finite element programs. The rake strength and durability were calculated. The working element design was implemented using the Solid Works CAD system using standard finite element programs. (*Results and discussion*) The authors have studied the main element of the original structure – the working element in the form of an endless narrow V-belt with its brackets housing spring-based rakes. They have also developed and offered a special device to prevent the belt from being dropped; analyzed the design and found a number of its significant shortcomings. The calculations have shown that the maximum stresses occur near the points of attachment and they are approximately equal to 545 MPa. The maximum elastic deformation of the rake is 2.1 millimeter. The authors have proposed a design scheme of fastening the rake on a wide belt, which eliminates the use of a device that prevents the belt from being dropped when the rake is colliding with an obstacle. Thus the raking body design has been greatly simplified. The proposed development will allow to reduce the rake weight by 0.6 kilograms and the total device weight by 14.4 kilograms. (*Conclusions*) The authors have obtained data sufficient to prove that the proposed design scheme would reduce the weight, energy consumption and production cost of the machine.

Keywords: harvesting green forage, grass raking, horizontal conveyor rake, rake, finite element method, optimization of structural and strength parameters.

For citation: Eremin P.A., Mikheev V.V., Tekushev A.Kh., Kostenko M.Yu., Eremin V.P. Rabochie organy gorizonta'no-konveernogo tipa dlya sgrebaniya travyanoy massy [Working element of a horizontal conveyor type for grass raking]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N1. 48-52. DOI 10.22314/2073-7599-2018-13-1-48-52 (In Russian).

Применение горизонтально-конвейерных рабочих органов для сгребания травяной массы увеличивает производительность в 1,5-2 раза, вдвое снижает металлоемкость, повышает качество сгребания. Меньшая энергоемкость позволяет использовать их даже с легкими энергосредствами типа мотоблока. Компактность конструкции делает машину удобной для работы на небольших участках и косогорах [1-4]. Один из вариантов таких устройств для мотоблока применяют, например, на сеноуборочных машинах вместо барабанного подборщика (рис. 1). В настоящее время его производит только фирма Landwirt.

Отсутствие данных по проектированию рабочего органа в значительной степени тормозит создание конструкций таких машин.

Цель исследования – изучить конструкции граблей и получить данные по проектированию рабочего органа горизонтально-конвейерного типа для сгребания подвяленной травяной массы.

Материалы и методы. Применили аналитический метод с использованием компьютерного 3D-моделирования. Задачи анализа прочности решали методом конечных элементов (МКЭ).

Результаты и обсуждение. Рабочий орган граблей выполнен в виде бесконечного узкого клинового ремня, на кронштейнах закреплены граблины с пружинным основанием.

Для предотвращения сброса ремня предусмотрено специальное устройство, показанное стрелкой на рисунке 2.



Рис. 1. Горизонтально-конвейерные грабли модели Hill Rake в агрегате с мотоблоком

Fig. 1. Horizontal conveyor rake of the Hill Rake make attached to the walking tractor

Анализ конструкции выявил ряд существенных недостатков. Были сделаны следующие выводы:

1. Верхняя часть граблины (почти половина) не участвует в сгребании (рис. 1). Следовательно, при дальнейшем проектировании можно уменьшить ее рабочую длину с 300 до 80-100 мм.

2. Граблина весом 900 г закреплена на ремне, который не является жестким элементом. В случае столкновения с препятствием ремень поглотит часть нагрузки, предназначенной граблине. Таким образом, из конструкции граблины можно исключить пружинное основание и создать более легкий кронштейн ее крепления. Указанные меры позволят значительно снизить инерционные нагрузки, возник-



Рис. 2. Граблина с пружинным основанием на кронштейне на узком ремне (стрелкой показано устройство, предотвращающее сброс ремня)

Fig. 2. A rake with a spring base fastened to the bracket with a narrow belt (the arrow indicate a device that prevents the belt from dropping)

кающие в процессе работы.

3. На рабочем органе представленной машины используют устройство, предотвращающее сброс ремня. Его применение обусловлено тем, что ремень, используемый на рабочем органе, не обладает достаточной жесткостью. Для его надежного удержания на шкивах при столкновении с препятствием или при захвате большой порции сена дополнительно возникает сила трения, которая значительно возрастает с увеличением массы вала. Решением проблемы станет применение более широкого ремня. При этом отпадает необходимость использования устройств, устраняющих сброс ремня [5].

4. Исследование распределения нагрузки, проведенное методом конечных элементов, показало, что поломка граблины чаще всего происходит в месте закрепления болта (рис. 3). Отломившаяся часть граблины, захваченная, например, подборщиком, может повредить механизмы машин на последующих операциях в поле [6-11].

В ходе проведения конструкторских работ спроектирована оригинальная конструкция граблины, не имеющая пружинного основания (рис. 4).

Чтобы установить прочностные характеристики, провели расчет граблины на прочность и долговечность с применением МКЭ. Деталь разрабатывали в системе автоматизированного проектирования Solid Works (рис. 4). При расчетах использовали стандартные компьютерные программы по методу МКЭ.

Во внимание принимали данные предварительных исследований, полученные в процессе полевых испытаний: масса вала – до 10 кг; линейная скорость сгребания – 12 м/с.

Предложили новую конструкцию сгребющего рабочего органа, изменили способ крепления граблин (рис. 5, 6). Граблина фиксируется двумя легкими прижимами и в случае поломки в опасном сечении остается на ремне.

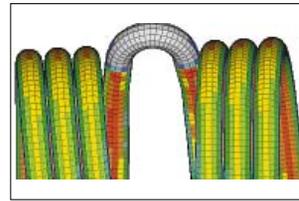


Рис. 3. Распределение нагрузки и характерная поломка за местом крепления болта

Fig. 3. Load distribution and a characteristic breakage beyond the bolt attachment point

Виртуальную модель граблины разбили на конечные элементы. Характеристика модели:

- количество элементов – 5504 шт.;
- количество узлов – 7093 шт.;

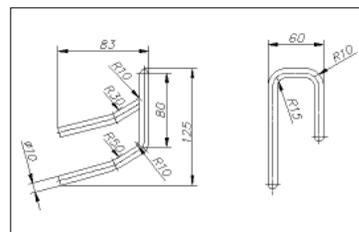


Рис. 4. Чертеж и 3D-модель граблины

Fig. 4. Drawing and 3D-model of a rake

- тип элементов – гексаэдр (шестиугольник).

Критическим условием считается разрушение граблины при столкновении с препятствием (камень, твердые слои почвы). На рисунке 6 показаны расчетная схема и места крепления граблины на

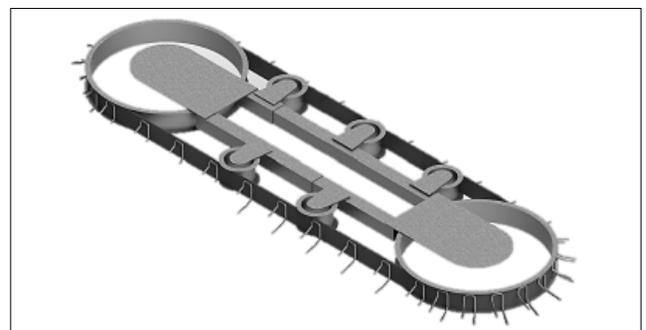


Рис. 5. 3D-модель конструкции сгребющего рабочего органа

Fig. 5. 3D-model of the raking element design

ремне (отмечены треугольниками).

Как видно на схеме, нагрузка приложена к свободным концам граблины с помощью условного элемента (показан стрелками). Для изготовления граблины выбрана сталь Ст.65Г, вес детали (по модели) – 300 г, длина развертки – 343 мм.

Характеристика стали Ст.65Г:

- предел текучести – 785 МПа;
- предел прочности – 980 МПа;
- модуль упругости – $2,13 \cdot 10^5$ МПа;
- коэффициент Пуассона – 0,3.

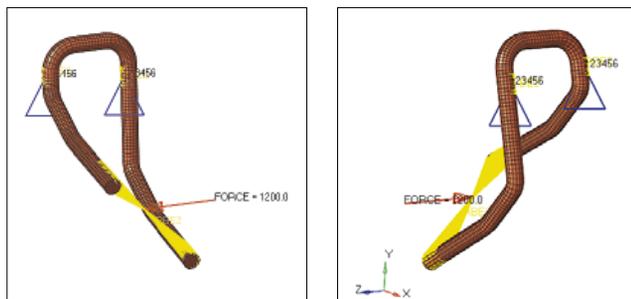


Рис. 6. Расчетная схема и места крепления граблины на ремне
Fig. 6. Design scheme and points of fastening the rake on the belt

Коэффициент запаса прочности рассчитали по формуле:

$$n = \frac{\sigma_b}{\sigma_{расч}} = 1,44, \quad (1)$$

где n – коэффициент запаса прочности;

σ_b – предел прочности стали, МПа;

$\sigma_{расч}$ – максимальное расчетное напряжение, МПа.

Вычислили силу F , действующую на граблины, МПа [6]:

$$F = \frac{MK_d}{R}, \quad (2)$$

где M – максимальный крутящий момент, Н·м;

K_d – коэффициент динамичности;

R – радиус шкива рабочего органа, м,

то есть:

$$F = \frac{400 \cdot 1,5}{0,35} = 1200 \text{ МПа}$$

Результаты расчета представлены на рисунке 7. По результатам расчета определены максималь-

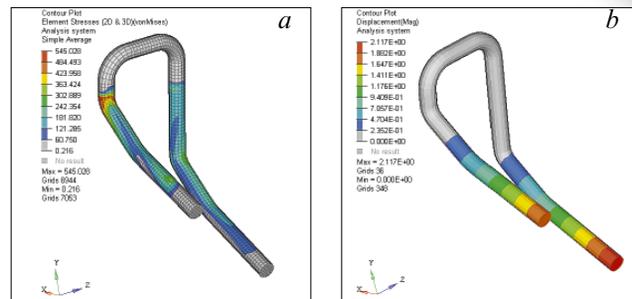


Рис. 7. Результаты расчета:

a – напряжений; b – упругой деформации детали

Fig. 7. Calculation results:

a – stresses; b – elastic deformation of the part

ные напряжения. Они возникают вблизи мест закрепления граблины и равны приблизительно 545 МПа. Максимальная упругая деформация граблины составит 2,1 мм при точности измерения 5% (Патент на полезную модель RUS 152669).

Расчеты показали, что вес граблины снизился на 0,6 кг, а общий вес рабочего органа – на 14,4 кг (0,6 · 24 шт. = 14,4 кг).

Выводы. Предложенная конструкция граблины вполне удовлетворяет эксплуатационным требованиям к прочности и деформации.

Схема закрепления граблины на широком ремне позволяет исключить применение устройства, предотвращающего сброс ремня при столкновении граблины с препятствием, что значительно упрощает конструкцию сгребающего органа.

Разработка позволит снизить вес, энергоёмкость и себестоимость производства машины.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Сизов О.А. Технологии и технические средства для восстановления и реабилитации неиспользуемых и деградированных сельхозугодий // *Техника и оборудование для села*. 2010. N2. С. 12-14.
- Измайлов А.Ю., Елизаров В.П., Артюшин А.А., Лобачевский Я.П., Кряжков В.М., Антышев Н.М., Бабченко В.Д., Бейлис В.М., Голубкович А.В., Гришин А.П., Евтюшенков Н.Е., Жалнин Э.В., Жук А.Ф., Колесникова В.А., Левина Н.С., Личман Г.И., Марченко Н.М., Марченко Л.А., Марченко О.С., Михеев В.В. и др. Система машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства на период до 2020 года. М.: ВИМ. 2012. Т. 1. Растениеводство. 303 с.
- Измайлов А.Ю., Шогенов Ю.Х. Интенсивные машинные технологии и техника нового поколения для производства основных групп сельскохозяйственной продукции // *Техника и оборудование для села*. 2017. N7 (241). С. 2-6.
- Орси́к Л.С., Рева́кин Е.Л. Инновационные техноло-
- гии и комплексы машин для заготовки и хранения кормов. М.: Росинформагротех. 2008. 140 с.
- Еремин П.А. Физическое моделирование процесса сгребания сена из клевера на лабораторной установке грабель ротационно-конвейерного типа // *Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства*. 1989. N74. С. 9-11.
- Феодосьев В.И. Сопротивление материалов. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 1999. 592 с.
- Суркова Т.А. Грабли с центральной укладкой валка модели GA 8731 фирмы «Kuhn» // *Механизация и электрификация в растениеводстве*. 2017. N1. С. 101-103.
- Марченко О.С. Проблемы технического обеспечения кормопроизводства в России // *Кормопроизводство*. 1993. N2. С. 2-10.
- Баутин В.М., Буклагин Д.С., Артюшин А.А. Справочник инженера-механика сельскохозяйственного производства. М.: Росинформагротех. 2003. Ч. 2. 368 с.
- Yukumoto O. Japanese Agriculture and Agricultural



Machinery – Current Status and Problems. *Agricultural mechanization in Asia, Africa and Latin America: AMA*. 2011. Vol. 42. N1. 72-75.

11. Shibusawa S. New Stage of Agriculture Mechanization Research in Japan. *Agricultural mechanization in Asia, Africa and Latin America: AMA*. 2011. Vol. 42. N1. 79-82.

REFERENCES

1. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Sizov O.A. Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya vosstanovleniya i reabilitatsii neispol'zuemykh i degradirovannykh sel'khozugodiy [Technologies and technical means for the rehabilitation and restoration of unused and degraded farmland]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2010. N2. 12-14 (In Russian).

2. Izmaylov A.Yu., Elizarov V.P., Artyushin A.A., Lobachevskiy Ya.P., Kryazhkov V.M., Antyshev N.M., Babchenko V.D., Beylis V.M., Golubkovich A.V., Grishin A.P., Evtyushenkov N.E., Zhalnin E.V., Zhuk A.F., Kolesnikova V.A., Levina N.S., Lichman G.I., Marchenko N.M., Marchenko L.A., Marchenko O.S., Mikheev V.V., et al. Sistema mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii i avtomatizatsii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na period do 2020 goda [System of machines and technologies for the comprehensive mechanization and automation of agricultural production for the period up to 2020]. Moscow: VIM. 2012. Vol. 1. *Rasteniyevodstvo*. 303 (In Russian).

3. Izmaylov A.Yu., Shogenov Yu.Kh. Intensivnyye mashinnye tekhnologii i tekhnika novogo pokoleniya dlya proizvodstva osnovnykh grupp sel'skokhozyaystvennoy produktsii [Intensive machine technologies and new generation equipment for the production of main agricultural products]. *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela*. 2017. N7(241). 2-6 (In Russian).

4. Orsik L.S., Revyakin E.L. Innovatsionnyye tekhnologii i komplekсы mashin dlya zagotovki i khraneniya kormov [Innovative technologies and machine complexes for feed preparation and storage]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2008. 140 (In Russian).

5. Eremin P.A. Fizicheskoe modelirovanie protsessa

sgrebaniya sena iz klevera na laboratornoy ustanovke grabel' rotatsionno-konveernogo tipa [Physical modeling of clover hay raking on a laboratory installation of a rotary conveyor rake device]. *Nauchno-tekhnicheskiy byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva*. 1989. N74. 9-11 (In Russian).

6. Feodos'ev V.I. Soprotivlenie materialov [Strength of materials]. Moscow: Izd-vo MGTU im. N.E. Baumana. 1999. 592 (In Russian).

7. Surkova T.A. Grabli s tsentral'noy ukladkoy valka modeli GA 8731 firmy "Kuhn" [Rake with central roll laying of GA 8731 model made by the "Kuhn" company]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya v rasteniyevodstve*. 2017. N1. 101-103 (In Russian).

8. Marchenko O.S. Problemy tekhnicheskogo obespecheniya kormoproizvodstva v Rossii [Problems of technical support of forage production in Russia]. *Kormoproizvodstvo*. 1993. N2. 2-10 (In Russian).

9. Bautin V.M., Buklagin D.S., Artyushin A.A. Spravochnik inzhenera-mekhanika sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva [Reference book of agricultural engineer]. Moscow: Rosinformagrotekh. Part 2. 2003. 368 (In Russian).

10. Yukumoto O. Japanese Agriculture and Agricultural Machinery – Current Status and Problems. *Agricultural mechanization in Asia, Africa and Latin America: AMA*. 2011. Vol. 42. N1. 72-75 (In English).

11. Shibusawa S. New Stage of Agriculture Mechanization Research in Japan. *Agricultural mechanization in Asia, Africa and Latin America: AMA*. 2011. Vol. 42. N1. 79-82 (In English).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 19.12.2018
The paper was submitted
to the Editorial Office on 19.12.2018

Статья принята к публикации 08.02.2019
The paper was accepted
for publication on 08.02.2019



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 внутрострочные 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;
- место работы автора (ов);
- реферат и ключевые слова;
- названия литературных источников.

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 2019

**КАК
подписаться
на журнал?**



ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

Подписку на второе полугодие 2019 г. можно оформить
до 20 июня включительно
в почтовых отделениях связи
по каталогу агентства «РОСПЕЧАТЬ»
Подписной индекс **35825**

ЖУРНАЛ

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

Редакция журнала:

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

www.vimsmi.com

e-mail: smit@vim.ru