

Сельскохозяйственные МАШИНЫ и ТЕХНОЛОГИИ

AGRICULTURAL MACHINERY AND TECHNOLOGIES

Том 12 N4 2018

Vol. 12 N4 2018

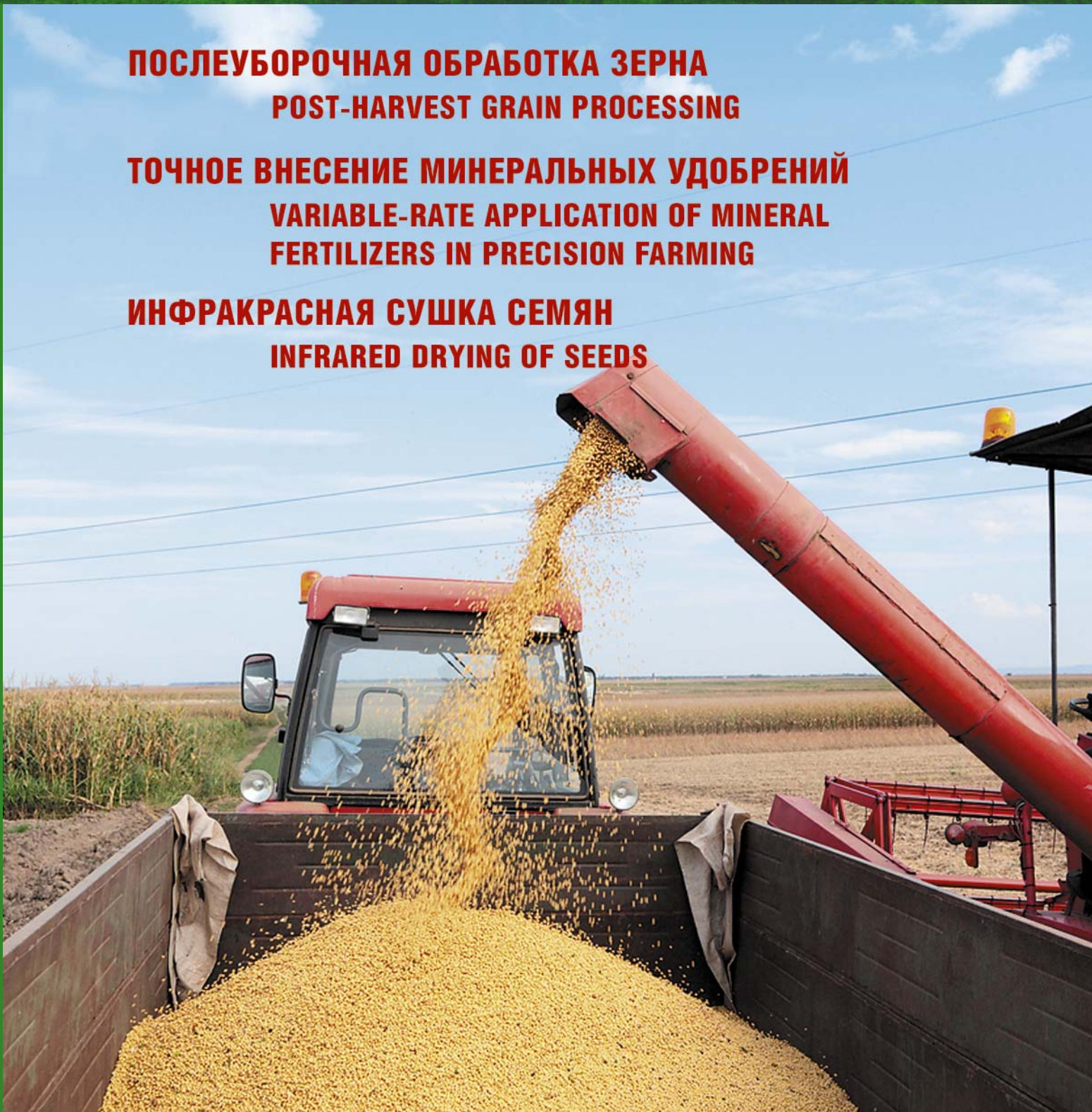
НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

SCIENTIFIC-THEORETICAL JOURNAL

ПОСЛЕУБОРОЧНАЯ ОБРАБОТКА ЗЕРНА
POST-HARVEST GRAIN PROCESSING

ТОЧНОЕ ВНЕСЕНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ
VARIABLE-RATE APPLICATION OF MINERAL
FERTILIZERS IN PRECISION FARMING

ИНФРАКРАСНАЯ СУШКА СЕМЯН
INFRARED DRYING OF SEEDS







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:
Л.А. Горелова,
В.В. Бижаев,
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, 2018

Отпечатано в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
Формат 205 x 290 мм
Подписано в печать 15.08.2018
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, 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

Яков Петрович Лобачевский

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

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. ФЦ77-68608
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:

Gorelova L.A.,
Bizhaev V.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 15.08.2018
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.), Academician 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, Academician 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, Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Yuriy A. Ivanov

Dr.Sc.(Agr.), Academician 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

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

Yuriy F. Lachuga

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

Antonin Makhalek

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

Tadeusz Pavlovsky

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

Vladimir D. Popov

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

Yulia S. Tsench

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

Vyacheslav I. Chernov

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

**ТЕХНИКА ДЛЯ РАСТЕНИЕВОДСТВА**

- Личман Г.И., Белых С.А., Марченко А.Н.
Способы внесения удобрений в системе точного земледелия4

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

- Астафьев В.Л., Голиков В.А.
Обоснование типажа зерноуборочных комбайнов и жаток применяемых в регионах Казахстана10

- Савиных П.А., Сычугов Ю.В., Казаков В.А.
Фракционная технология и устройства послеуборочной обработки и переработки зерна площением16

ПРЕДПОСЕВНАЯ ОБРАБОТКА СЕМЯН

- Левина Н.С., Тертышная Ю.В., Бидей И.А., Елизарова О.В.
Предпосевная обработка семян подсолнечника, сои и кукурузы низкочастотным электромагнитным излучением22

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАТИКА

- Павлов С.А., Фролова Т.Ф.
Исследования сушки зерна в автоматизированном зерносушильном агрегате29

ЭКОНОМИКА

- Новиков Э.В., Басова Н.В., Безбабченко А.В.
Анализ экономических показателей линий для переработки масличного льна35

ТЕХНИКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

- Лискин И.В., Лобачевский Я.П., Миронов Д.А., Сидоров С.А., Панов А.И.
Результаты лабораторных исследований почворезающих рабочих органов41

- Василенко В.В., Василенко С.В., Борзило В.С.
Зона рыхления почвы культиваторной лапой48

- Жук А.Ф., Сохт К.А.
Размещение сферических дисков фронтальных борон53

MACHINERY FOR PLANT GROWING

- Lichman G.I., Belykh S.A., Marchenko A.N.
Methods of applying fertilizers in precision agriculture.4

NEW MACHINERY AND TECHNOLOGIES

- Astafyiev V.L., Golikov V.A.
Determining the range of combine harvesters and headers for Kazakhstan regions10

- Savinykh P.A., Sychugov Yu.V., Kazakov V.A.
Fractional technology and tools for grain post-harvest treatment and processing with crushing16

PRESOWING TREATMENT OF SEEDS

- Levina N.S., Tertyshnaya Yu.V., Bidey I.A., Elizarova O.V.
Pre-sowing treatment of sunflower, soybean and maize seeds with low-frequency electromagnetic radiation22

AUTOMATION AND COMPUTER SCIENCE

- Pavlov S.A., Frolova T. F.
Study of grain drying in the automated grain drying unit29

ECONOMICS

- Novikov E.V., Basova N.V., Bazbabchenko A.V.
Analysis of economic indicators for oil flax processing35

MACHINERY FOR SOIL CULTIVATION

- Liskin I.V., Lobachevsky Ya.P., Mironov D.A., Sidorov S.A., Panov A.I.
Laboratory study results of soil-cutting operating elements41

- Vasilenko V.V., Vasilenko S.V., Borzilo V.S.
Zone of soil loosening with cultivator sweeps48

- Zhuk A.F., Sokht K.A.
Arrangement of spherical disks for frontal harrows53

Способы внесения удобрений в системе точного земледелия

Геннадий Иванович Личман,
доктор технических наук, главный научный
сотрудник, e-mail: litchmangiv@yandex.ru;

Сергей Анемподистович Белых,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник;
Алексей Николаевич Марченко,
старший научный сотрудник

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. В системе управления производственными процессами сельскохозяйственных культур достижение планируемой урожайности, качества продукции и экономической эффективности с использованием только органических удобрений невозможно. Восполнить запасы используемых растениями азота, фосфора, калия и других питательных элементов в почве позволяет совместное локальное внесение органических и твердых минеральных удобрений. Проведено исследование новых способов дифференцированного внесения минеральных удобрений в растениеводстве, позволяющих повысить прибыль от производства сельхозкультур. (*Цель исследования*) Разработать новые способы дифференцированного внесения минеральных удобрений в растениеводстве, позволяющие повысить прибыль от производства сельскохозяйственных культур в сравнении с общепринятым способом внесения удобрений по средним показателям поля. (*Материалы и методы*) Предложена методика расчета, реализованная в компьютерной программе *VBA Excel*, для определения основных показателей: валовой сбор, экономия удобрений, прибыль и другое. Ключевая изменяемая величина в расчетах – планируемая урожайность по средним показателям поля. По окончании расчета на экран выводятся значения лучшего результата по валовому сбору урожая и прибыли. Объекты исследования для расчета – элементарные участки посевных площадей трех хозяйств: ООО «Продресурс», Агрополигон ОДПО ВНИИА, ООО «Мурминское» с разными типами почв (чернозем, дерново-подзолистая суглинистая, среднеподзолистая супесчаная). (*Результаты и обсуждение*) Установлено, что пропорционально-дифференцированное внесение удобрений на указанных типах почв дает стабильное повышение прибыли по сравнению с внесением удобрений по средним показателям поля. (*Выводы*) Расчеты показали, что в заданных условиях при одинаковой урожайности (30 центнеров с гектара) наиболее эффективно внесение органических и минеральных удобрений на среднеподзолистых супесчаных почвах – прибыль составит 40 процентов, на дерново-подзолистых почвах – 8,7 процентов, на черноземах – 1,3 процента. Пропорционально-дифференцированное внесение минеральных удобрений совместно с дифференцированным внесением органических удобрений позволяет вдвое уменьшить дозу минеральных удобрений.

Ключевые слова: дифференцированное внесение удобрений, планируемая урожайность, валовой сбор урожая, производственные процессы.

■ **Для цитирования:** Личман Г.И., Белых С.А., Марченко А.Н. Способы внесения удобрений в системе точного земледелия // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №4. С. 4-9. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-4-4-9

Methods of Applying Fertilizers in Precision Agriculture

Gennady I. Lichman,
Dr.Sc.(Eng.), chief research associate,
e-mail: litchmangiv@yandex.ru;

Sergey A. Belykh,
Ph.D.(Eng.), senior research associate;
Aleksey N. Marchenko,
senior research associate

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. It is impossible to achieve the planned yields, product quality, and economic efficiency in agricultural production using only organic fertilizers. joint application of organic and solid mineral fertilizers solves the problem of replenishing the soil content of nitrogen, phosphorus and other elements used by plants. The authors have carried out the research of new methods of variable-rate application of mineral fertilizers in plant growing, allowing to increase the profitability of

agricultural production. (*Research purpose*) is to develop new methods of variable-rate application of mineral fertilizers in crop production, which will allow increasing the profitability of crop production as compared with the conventional methods of applying fertilizers basing on average field indicators. (*Materials and methods*) The authors have developed a calculation technique implemented in the VBA Excel computer program for determining the main indicators: gross output, fertilizer saving, profit, etc. The main variable to change in the calculations is the planned yield based on average field parameters. At the end of the calculation process, the values of the best result for gross harvest output and profit are displayed on the screen. The research objects for the calculation were represented by elementary areas of crop areas of three farms – “Prodresurs”, Agropoligon VIUA, and “Murminskoye” with different soil types: chernozem, loamy, and sandy-loam. (*Results and discussion*) The method of proportional variable-rate application of fertilizers on three types of soils gives a stable increase in profit as compared with the application of fertilizers basing on the average field indicators. (*Conclusions*) Calculations have shown that under the specified conditions and at the equal yield of 30 c/ha the application of organomineral fertilizers is the most effective, profitability has accounted for 40 percents – on mesopodzol sandy-loam soils; 8.7 percents – on sod-podzolic soils; and 1.3 percents – on black soils. The method of proportional variable-rate application of mineral fertilizers accompanied with variable-rate application of organic fertilizers makes it possible to reduce the amount of mineral fertilizers applied by half.

Keywords: variable-rate application of fertilizers, planned yield, gross harvest output, production processes.

■ **For citation:** Lichman G.I., Belykh S.A., Marchenko A.N. Methods of applying fertilizers in precision agriculture. *Sel'skokhozyaistvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. 12(4): 4-9. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-4-4-9. (In Russian)

Современные агротехнологии представляют собой комплексы технологических операций по управлению продукционными процессами сельскохозяйственных культур для достижения планируемой урожайности, качества продукции, экономической эффективности и экологической безопасности. Применение только органических удобрений способствует получению экологически чистой продукции, но не восполняет возникающий дефицит элементов питания для растений [1-4].

Совместное локальное внесение органических и твердых минеральных удобрений помогает решить задачу эффективного использования ресурсосберегающих элементов технологий точного земледелия с получением положительного экономического эффекта [5-7].

Для повышения плодородия почвы и его сохранения необходимо вносить навоз в дозах, обратно пропорциональных содержанию элементов питания в почве или из расчета планируемой урожайности по участкам; для получения экономического эффекта минеральные удобрения следует вносить пропорционально показателям естественного плодородия почвы.

Цель исследования – разработать новые способы дифференцированного внесения минеральных удобрений в растениеводстве, позволяющие повысить прибыль от производства сельскохозяйственных культур в сравнении с общепринятым способом внесения удобрений по средним показателям поля [1-3]:

- пропорционально-дифференцированное внесение твердых минеральных удобрений;
- дифференцированное внесение твердых минеральных удобрений с учетом 3 статистических ин-

тервалов значений почвенного азота в сравнении с другими методами;

- внесение удобрений по средним показателям поля под планируемую урожайность;
- дифференцированное внесение минеральных удобрений по участкам под планируемую урожайность; причем общее количество внесенного азота должно быть равно количеству азота, внесенному по средним показателям поля.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В работе использован метод расчета вносимых удобрений с учетом трех статистических интервалов значений почвенного азота (метод описан в докладе «Программа определения оптимальных доз внесения удобрений с учетом статистических показателей почвенного азота» в сборнике научных докладов Международной научно-технической конференции «Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации Государственной программы развития сельского хозяйства», прошедшей в Москве 15-16 сентября 2015 г.).

Разработана методика расчета, реализованная в компьютерной программе *VBA Excel*, для определения основных показателей: валовой сбор, экономия удобрений, прибыль и др. [4-7].

Основная изменяемая величина в расчетах – планируемая урожайность по средним показателям поля. Так как планируемую урожайность рассчитывали по азоту, то для восполнения недостатка в почве азота, калия и фосфора в качестве удобрения использовали трехкомпонентное удобрение – нитроаммофоску [8].

Для определения дозы внесения азота под планируемую урожайность использован коэффициент пропорциональности на вносимые удобрения ($K_{\text{пр}}$):

$$K_{\text{ПР}} = \frac{Y_{\text{ПЛ}}}{Y_{\text{Б}}}, \quad (1)$$

где $Y_{\text{ПЛ}}$ – планируемая урожайность; $Y_{\text{Б}}$ – урожайность по средним показателям поля без внесения удобрений.

Планируемую урожайность по участкам рассчитывают по формуле:

$$Y_{\text{ПНУЧ}} = K_{\text{ПР}} \cdot Y_{\text{БНУЧ}} \quad (2)$$

где $Y_{\text{БНУЧ}}$ – урожайность N -го участка без внесения удобрений.

В программе в качестве исходных данных использованы агрохимические показатели: кислотность, содержание фосфора, калия, по которым рассчитывают дозы внесения удобрений по участкам.

Входные данные для расчетов:

- органические удобрения – навоз с содержанием азота 0,5%;
- минеральные удобрения – нитроаммофоска (16% азота);
- культура – озимая пшеница;
- цена:

валового сбора урожая – 12500 руб./т;

навоза – 475 руб./т;

минерального удобрения – 25,8 руб./кг;

горючего – 50 руб./л;

- расход горючего – 50 л/га;

- затраты на:

получение информации – 14000 руб./га;

приобретение GPS-навигатора параллельного вождения – 140000 руб.;

закупку дозирующих устройств с контроллером – 300000 руб.;

Расчеты проводили для участков поля площадью 100 га.

Были определены:

- урожайность по средним показателям поля, ц/га;
- средняя урожайность по участкам, ц/га;
- доза внесения азота в действующем веществе (д.в.) по средним показателям поля, кг/га;
- средняя доза внесения азота в д.в. по участкам, кг/га;
- максимальная доза внесения азота в д.в. по участкам, кг/га;
- содержание азота в почве по средним показателям поля, мг/кг;
- урожайность по средним показателям азота в почве, т/га;
- валовой сбор, %;
- экономия удобрений, %;
- прибыль, %;
- прибыль на единицу площади по средним показателям поля, тыс. руб./га;
- средняя прибыль по участкам, тыс. руб./га;
- сверхприбыль на площадь, тыс. руб./га.

Формулы расчета прибыли по средним показателям поля:

$$P_{\text{П}} = C_{\text{ур}} Y_{\text{П}} S_{\text{П}} - D_{\text{вн}} C_{\text{уд}} S_{\text{П}} \frac{100}{A\%} - C_{\text{гор}} P_{\text{гор}} S_{\text{П}} - Z_{\text{инф}} S_{\text{П}} - C_{\text{пр}} - C_{\text{контр}}, \quad (3)$$

по участкам:

$$P_{\text{уч}} = \sum_{i=1}^N (C_{\text{ур}} Y_{i\text{уч}} S_{i\text{уч}} - D_{i\text{вн}} C_{\text{уд}} S_{i\text{уч}} \frac{100}{A\%} - C_{\text{гор}} P_{\text{гор}} S_{i\text{уч}} - Z_{\text{инф}} S_{i\text{уч}}) - C_{\text{пр}} - C_{\text{контр}}, \quad (4)$$

где $P_{\text{П}}$ – прибыль по средним показателям поля, руб.; $P_{\text{уч}}$ – прибыль по участкам, руб.; $C_{\text{ур}}$ – цена зерна, руб./т; $C_{\text{уд}}$ – цена азотных удобрений, руб./кг; $A\%$ – содержание азота в удобрении (нитроаммофоска); $C_{\text{гор}}$ – цена горючего, руб./л; $P_{\text{гор}}$ – расход горючего, л/га; $Z_{\text{инф}}$ – затраты на получение информации, руб./га; $C_{\text{пр}}$ – цена GPS-навигатора, руб.; $C_{\text{контр}}$ – цена контроллера, руб.; $Y_{i\text{уч}}$ – урожайность i -го участка, т/га; $S_{\text{П}}$ – площадь поля, га; $S_{i\text{уч}}$ – площадь участка, га.

По показателю кислотности участка (поля) производим расчет азота в почве [7, 8]:

$$\ln(Y_{\text{рН}}) = 4,9801 \cdot \ln(\text{pH}) - 6,713. \quad (5)$$

По азоту почвы и количеству внесенных азотных удобрений определяем урожайность:

$$\ln(Y_{\text{N}}) = \ln(N_{\text{рН}} 1,5 + N_{\text{вн}} 5,2) 1,47454 - 1,385487, \quad (6)$$

где Y_{N} – урожайность по азоту почвы, выраженному через кислотность; $N_{\text{рН}}$ – содержание азота в почве, выраженное через кислотность; $N_{\text{вн}}$ – д.в., внесенное с минеральным азотом.

В программе входные данные являются изменяемыми параметрами. По окончании расчета на экран выводятся значения лучшего результата по валовому сбору урожая и прибыли. Вид программной оболочки показан на рисунке 1.

Объектами исследования для расчета выбраны элементарные участки посевных площадей трех хозяйств

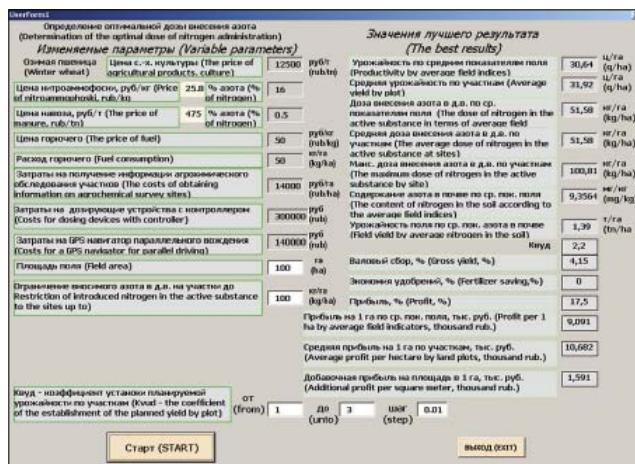


Рис. 1. Вид программной оболочки

Fig. 1. Type of software shell

ООО «Продресурс», Агрополигон отдела длительных полевых опытов ОДПО ВНИИА, ООО «Мурминское» с разными типами почв: чернозем, дерново-подзолистая суглинистая, среднеподзолистая супесчаная.

ООО «Продресурс». Почва – чернозем. Площадь поля 28 га, 56 участков. Усредненные агрохимические показатели: гумус – 6,4%; рН – 6,3; фосфор – 9,5 мг/100 г; калий – 9,3 мг/100 г. Все участки имеют оптимальное и повышенное содержание почвенного азота.

Агрополигон ОДПО ВНИИА. Почва дерново-подзолистая суглинистая. Площадь поля 0,4 га. 400 участков. Усредненные агрохимические показатели: гумус – 1,95%; рН – 5,9; фосфор – 18,3 мг/100 г; калий – 14,5 мг/100 г. Все участки разделены по содержанию почвенного азота на участки с низким, оптимальным и повышенным его содержанием.

ООО «Мурминское». Почва среднеподзолистая супесчаная. Площадь поля 1832 га, 268 участков. Усредненные агрохимические показатели: гумус – 1,1%; рН – 5,5; фосфор – 19,1 мг/100 г; калий – 8,1 мг/100 г. Половина участков с низким содержанием почвенного азота.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. В таблицах 1, 2, 3 приведены расчеты валового сбора урожая, прибыли, среднее и максимальное внесение удобрений на 1 га в зависимости от способа их внесения.

ООО «Продресурс». В основу расчетов положена урожайность по средним показателям поля 24,08 ц/га. Из таблицы 1 видно, что при дифференцированном внесении удобрений под планируемую урожайность имеем превышение среднего и максимального количества удобрений на 1 га.

Агрополигон ОДПО ВНИИА. В расчетах принята урожайность по средним показателям поля 23,9 ц/га (табл. 2).

ООО «Мурминское». В расчетах принята уро-

жайность по средним показателям поля 24 ц/га (табл. 3).

При одном и том же внесении удобрений прибыль получается за счет увеличения валового сбора урожая. При дифференцированном внесении под планируемую урожайность среднее количество внесенных удобрений больше, потому что валовой сбор урожая должен быть меньше планируемой урожайности. Сравнение прибылей по трем типам почв четырьмя способами показано на рисунке 2.

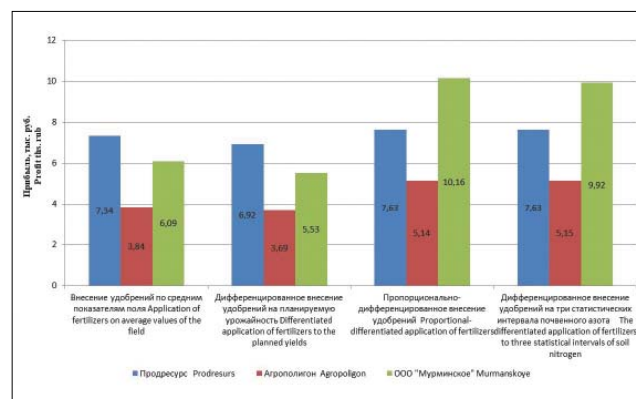


Рис. 2. Четыре способа сравнения прибылей на трех типах почв
Fig. 2. Comparison of profits on three types of soils in four ways

Из рисунка 2 следует, что при дифференцированном внесении удобрений с учетом трех статистических интервалов значений почвенного азота и пропорционально-дифференцированном внесении прибыль примерно одинакова; пропорционально-дифференцированное внесение удобрений на трех типах почв дает стабильное превышение прибыли по сравнению с внесением удобрений по средним показателям поля. Далее именно этот способ используем для совместного внесения минеральных удобрений и навоза.

РАСЧЕТЫ ВАЛОВОГО СБОРА УРОЖАЯ, ПРИБЫЛИ, СРЕДНЕЙ И МАКСИМАЛЬНОЙ ДОЗ ВНЕШЕНИЯ УДОБРЕНИЙ CALCULATIONS OF GROSS HARVEST, PROFIT, AVERAGE AND MAXIMUM APPLICATION OF FERTILIZERS				
Способ внесения удобрений Method of applying fertilizers	Валовой сбор урожая, ц/га Gross harvest, centner/ha	Прибыль, тыс. руб. Profit, ths. rub.	Средняя доза внесения удобрений, кг/га Average application of fertilizers, kg/ha	Максимальная доза внесения удобрений, кг/га Maximum doses of fertilizer application, kg/ha
По средним показателям поля Application of fertilizers on average values of the field	24,8	7,34	11,55	11,55
Дифференцированное внесение под планируемую урожайность Differentiated application of fertilizers to the planned yields	24,08	6,92	14,14	40,38
Пропорционально-дифференцированное внесение Proportional-differentiated application of fertilizers	24,31	7,63	11,55	16,26
Дифференцированное внесение на 3 статистических интервала почвенного азота The differentiated application of fertilizers to three statistical intervals of soil nitrogen	24,31	7,63	11,55	16,26

Таблица 2
Table 2
РАСЧЕТЫ ВАЛОВОГО СБОРА УРОЖАЯ, ПРИБЫЛИ, СРЕДНЕЙ И МАКСИМАЛЬНОЙ ДОЗ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ
CALCULATIONS OF GROSS HARVEST, PROFIT, AVERAGE AND MAXIMUM APPLICATION OF FERTILIZERS

Способ внесения удобрений Method of applying fertilizers	Валовой сбор урожа, ц/га Gross harvest, centner/ha	Прибыль, тыс. руб. Profit, ths. rub.	Средняя доза внесе- ния удобрений, кг/га Average application of fertilizers, kg/ha	Максимальная доза внесения удобрений, кг/га Maximum doses of fertilizer application, kg/ha
По средним показателям поля Application of fertilizers on average values of the field	23,98	3,84	23,98	23,98
Дифференцированное внесение под планируемую урожайность Differentiated application of fertilizers to the planned yields	23,98	3,69	33,42	99,90
Пропорционально-дифференцированное внесение Proportional-differentiated application of fertilizers	24,06	5,14	32,72	63,95
Дифференцированное внесение на 3 статистиче- ских интервала почвенного азота The differentiated application of fertilizers to three statistical intervals of soil nitrogen	25,04	5,15	32,50	56,78

Таблица 3
Table 3
РАСЧЕТЫ ВАЛОВОГО СБОРА УРОЖАЯ, ПРИБЫЛИ, СРЕДНЕЙ И МАКСИМАЛЬНОЙ ДОЗ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ
CALCULATIONS OF GROSS HARVEST, PROFIT, AVERAGE AND MAXIMUM APPLICATION OF FERTILIZERS

Способ внесения удобрений Method of applying fertilizers	Валовой сбор урожа, ц/га Gross harvest, centner/ha	Прибыль, тыс. руб. Profit, ths. rub.	Средняя доза внесе- ния удобрений, кг/га Average application of fertilizers, kg/ha	Максимальная доза внесения удобрений, кг/га Maximum doses of fertilizer application, kg/ha
По средним показателям поля Application of fertilizers on average values of the field	24,06	6,09	44,67	44,67
Дифференцированное внесение под планируемую урожайность Differentiated application of fertilizers to the planned yields	24,06	5,53	48,41	96,17
Пропорционально-дифференцированное внесение Proportional-differentiated application of fertilizers	27,60	10,16	44,67	129,24
Дифференцированное внесение на 3 статистиче- ских интервала почвенного азота The differentiated application of fertilizers to three statistical intervals of soil nitrogen	27,35	9,52	44,76	90,40

При пропорционально-дифференцированном внесении минеральных удобрений совместно с дифференцированным внесением навоза под планируемую урожайность дозы азота, наполовину уменьшены так, чтобы общее количество внесенного азота было равно общему количеству азота, внесенного по средним показателям поля. Количество внесенных органических и минеральных удобрений рассчитывали под планируемую урожайность 30,5 ц/га [9, 10].

Прибыль составила:

- 0,17 тыс. руб./га (или 1,36%) для ООО «Продресурс»;
- 1,56 тыс. руб./га (или 8,7%) для Агрополигона ОДПО ВНИИА;
- 2,8 тыс. руб./га (или 40,6%) для ООО «Мурминское».

Выводы

Расчеты показали, что наиболее эффективно внесение органических и минеральных удобрений на среднеподзолистых супесчаных почвах, в этом слу-

чае прибыль составила 40,6% при внесении азота в количестве 63 кг д.в./га по средним показателям поля. На дерново-подзолистых почвах – процент прибыли – 8,7%, при внесении азота в количестве 51 кг д.в./га по средним показателям поля. На черноземах процент прибыли – наименьший (1,3%) при внесении азота в количестве 29 кг д.в./га по средним показателям поля.

Среди множества расчетов в базе также сохраняются менее прибыльные варианты. Способ комплексного дифференцированного совместного внесения минеральных и органических удобрений для всех трех типов почв: (чернозем, дерново-подзолистая суглинистая, среднеподзолистая супесчаная) позволяет вдвое уменьшить количество твердых минеральных удобрений, увеличить валовой сбор урожая и получить положительный экономический эффект.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Измайлов А.Ю., Личман Г.И., Марченко Н.М. Точное земледелие: проблемы и пути решения // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2010. N5. С. 9-14.
2. Crowder D.W., Reganold J.P. Financial competitiveness of organic agriculture on a global scale. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2015. 112. pp. 7611-7616.
3. Tsvetkov I., Atanassov A., Vlahova M., Carlier L., Christov N., Lefort F., Rusanov K., Badjakov I., Dincheva I., Tchamitchian M., Rakleova G., Georgieva L., Tamm L., Iantcheva A., Herforth-Rahm J., Paplomatas E., Atanassov I. Plant organic farming research – current status and opportunities for future development. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*. 2018. 32. N2. pp. 241-260.
4. Connor D.J. Organically grown crops do not a cropping system make and nor can organic agriculture nearly feed the world. *Field Crop Res*. 2013. 144. pp. 145-147.
5. Tonfack L.B., Youmbi E., Amougou A., Bernadac A. Effect of Organic/Inorganic-Cation Balanced Fertilizers on Yield and Temporal Nutrient Allocation of Tomato Fruits under Andosol Soil Conditions in Sub-Saharan Africa International. *Journal of Agricultural and Food Research ISSN*. 2013. 2. N2. pp. 27-37.
6. Šimon T., Czako A. Influence of long-term application of organic and inorganic fertilizers on soil properties. *Plant Soil Environ*. 2014. Vol. 60. N7. pp. 314-319.
7. Mulvaney R.L., Khan S.A., Ellsworth T.R. Synthetic nitrogen fertilizers deplete soil nitrogen: a global dilemma for sustainable cereal production. *J Environ Qual*. 2009. 38(6). pp. 2295-2314.
8. Ерёмин Д.И., Кибук Ю.П. Дифференцированное внесение удобрений как инновационный подход в системе точного земледелия. *Вестник КрасГАУ*. 2017. N8. С. 17-26.
9. Белых С.А., Личман Г.И., Марченко А.Н. Метод составления карт-заданий для дифференцированного внесения органо-минеральных удобрений. *Международная агроинженерия*. Алматы. 2016. Вып. 4. С. 14-19.
10. Ерёмин Д.И. Влияние длительного использования органо-минеральной системы удобрений зернового севооборота на динамику подвижного калия чернозема выщелоченного // *Плодородие*. 2016. N2(89). С. 28-31.

REFERENCES

1. Izmaylov A.Yu., Lichman G.I., Marchenko N.M. Tochnoye zemledeliye: problemy i puti resheniya [Precision farming: problems and solutions] // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2010. N5: 9-14. (In Russian)
2. Crowder D.W., Reganold J.P. Financial competitiveness of organic agriculture on a global scale. *Proc Natl Acad Sci USA*. 2015. 112. 7611-7616. (In English)
3. Tsvetkov I., Atanassov A., Vlahova M., Carlier L., Christov N., Lefort F., Rusanov K., Badjakov I., Dincheva I., Tchamitchian M., Rakleova G., Georgieva L., Tamm L., Iantcheva A., Herforth-Rahm J., Paplomatas E., Atanassov I. Plant organic farming research – current status and opportunities for future development. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*. 2018. 32. N2. 241-260. (In Russian)
4. Connor D.J. Organically grown crops do not a cropping system make and nor can organic agriculture nearly feed the world. *Field Crop Res*. 2013. 144. 145-147. (In English)
5. Tonfack L.B., Youmbi E., Amougou A., Bernadac A. Effect of Organic/ InorganicCation Balanced Fertilizers on Yield and Temporal Nutrient Allocation of Tomato Fruits under Andosol Soil Conditions in SubSaharan Africa International. *Journal of Agricultural and Food Research ISSN*. 2013. 2. N2. 27-37. (In English)
6. Šimon T., Czako A. Influence of longterm application of organic and inorganic fertilizers on soil properties. *Plant Soil Environ*. 2014; Vol. 60, N7. 314-319. (In English)
7. Mulvaney R.L., Khan S.A., Ellsworth T.R. Synthetic nitrogen fertilizers deplete soil nitrogen: a global dilemma for sustainable cereal production. *J Environ Qual*. 2009. 38(6). 2295-2314. (In English)
8. Yeromin D.I., Kibuk Yu.P. Differentsirovannoye vneseniye udobreniy kak innovatsionnyy podkhod v sisteme tochnogo zemledeliya [Variable-rate fertilization as an innovative approach in the system of precision farming]. *Vestnik KrasGAU*. 2017. N8. 17-26. (In Russian)
9. Belykh S.A., Lichman G.I., Marchenko A.N. Metod sostavleniya kart-zadaniy dlya differentsirovannogo vneseniya organomineral'nykh udobreniy [Method of compiling maps for variable-rate application of organic-and-mineral fertilizers]. *Mezhdunarodnaya agroinzheneriya*. Almaty. 2016. Iss. 4. 14-19. (In Russian)
10. Yeromin D.I. Vliyaniye dlitel'nogo ispol'zovaniya organo-mineral'noy sistemy udobreniy zernovogo sevooborota na dinamiku podvizhnogo kaliya chernozema vyshchelochennogo [Influence of the prolonged use of the organic-and-mineral system of fertilizers of cereal crop rotation on the dynamics of mobile potassium in leached chernozem] // *Plodoriadiye*. 2016. N2(89). 28-31. (In Russian)

Статья поступила в редакцию 12.04.2018
The paper was submitted
to the Editorial Office on 12.04.2018

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья принята к публикации 09.08.2018
The paper was accepted
for publication on 09.08.2018

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Обоснование типажа зерноуборочных комбайнов и жаток, применяемых в регионах Казахстана

Владимир Леонидович Астафьев¹,
доктор технических наук, профессор, директор;

Владимир Андреевич Голиков²,
академик НАН РК, главный научный сотрудник,
e-mail: kazniimech@yandex.kz

¹Костанайский филиал ТОО Казахский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства, г. Костанай, Республика Казахстан;

²ТОО Казахский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства, г. Алматы, Республика Казахстан

Реферат. Парк зерноуборочных машин в Республике Казахстан представлен комбайнами 3, 4, 5 и 6 классов. Около 82 процентов парка составляют комбайны классов 3 и 4. По данным Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан 60 процентов зерноуборочных комбайнов имеет срок службы свыше 10 лет. (Цель исследования) Обосновать типаж зерноуборочных комбайнов и жаток по регионам Казахстана в связи с проводимым техническим переоснащением. (Материалы и методы) Выбор типажа зерноуборочных комбайнов осуществляли с учетом урожайности убираемых сельскохозяйственных культур, размера посевных площадей в хозяйствах и регионе, наличия механизаторских кадров, а также погодных условий регионов. (Результаты и обсуждение) С учетом фактической урожайности зерновых по годам в регионах и ее возможного потенциального уровня проанализировали наличие посевных площадей; наличие крупных и мелких хозяйств, штата механизаторов, а также погодные условия в уборочный период по регионам Казахстана. Провели расчеты производительности комбайнов различных классов на потенциальной урожайности жатками разной ширины захвата. Сопоставляя полученные результаты с данными по урожайности, организационно-хозяйственным и погодным условиям и вводя соответствующие ограничения, обосновали типаж зерноуборочной техники по регионам Казахстана. (Выводы) Установили, что в условиях северного и центрального регионов Казахстана наиболее эффективны комбайны 4, 5 и 6 классов при условии оснащения их широкозахватными жатками для прямого комбайнирования. В южном, западном и восточном регионах Республики, где возделывание зерновых осуществляется на богарных землях при дефиците влаги, должны использоваться преимущественно комбайны 3 и 4 классов.

Ключевые слова: зерноуборочные комбайны, жатки, типаж, зональные условия регионов.

■ **Для цитирования:** Астафьев В.Л., Голиков В.А. Обоснование типажа зерноуборочных комбайнов и жаток применяемых в регионах Казахстана // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №4. С. 10-15. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-4-10-15

Determining the Range of Combine Harvesters and Headers for Kazakhstan Regions

Vladimir L. Astafyiev¹,
Dr.Sc. (Eng), professor, director;

Vladimir A. Golikov²,
Academician of Kazakhstan National Academy of
Sciences, chief research engineer, e-mail: kazniimech@
yandex.kz

¹Kostanay Branch of LLP "Kazakh Scientific Research Institute of Mechanization and Electrification in Agriculture", Kostanay, Kazakhstan;

²LLP "Kazakh Scientific Research Institute of Mechanization and Electrification in Agriculture", Almaty, Kazakhstan

Abstract. The fleet of combine harvesters in the Republic of Kazakhstan consists of 3-, 4-, 5- and 6-class harvesters, and 3- and 4- class harvesters make up for almost 82% of the fleet. According to the data provided by the Kazakhstan Ministry of Agriculture, 60% of grain harvesters have a lifespan of more than 10 years. (Research purpose) To determine the range of grain harvesters and headers for Kazakhstan regions in view of ongoing technical re-equipment. (Materials and



methods) The range of grain harvesters should be determined according to the yield of harvested crops, the size of crop area on separate farms and in the region, the availability of machine operators as well as climatic conditions of the regions. (Results and discussions). The authors have analyzed the actual yield of grain crops in Kazakhstan regions, determined its possible expected level, and analyzed the number of machine operators required for available crop area, the number of small, medium and large-scale farms and climatic conditions during the harvest period in Kazakhstan regions. The efficiency of harvesters of different classes with headers of various operating width has been estimated taking into account the expected yield. Matching the obtained results to the yield data, organizational-and-economic and climatic conditions, and introducing appropriate limits, the authors have determined the range of grain harvesters for Kazakhstan regions. (Summary) It has been found that the harvesters of class 5, 6 and 4 are more effective under conditions of northern and central Kazakhstan regions provided they are equipped with wide-cut headers for direct harvesting. In southern, western and eastern Kazakhstan regions, where grain crops are cultivated on dry soils with an insufficient moisture content, combine harvesters of class 3 and 4 should be primarily used.

Keywords: combine harvesters, headers, range, regional conditions.

■ For citation: Astafyiev V.L., Golikov V.A. Determining the range of combine harvesters used in Kazakhstan regions. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tehnologii*. 2018. 12(4): 10-15. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-4-10-15. (In Russian).

Парк зерноуборочных машин в Республике Казахстан представлен комбайнами 3, 4, 5, 6 классов. По данным МСХ РК на 01.01.2015 г. в Республике – 44,3 тыс. зерноуборочных комбайнов; из них 18,7 тыс. (42%) – Енисей 1200 и Енисей-950 Руслан, 15 тыс. (34%) – СК-5А Нива, 2,5 тыс. (5,7%) – Вектор, 1 тыс. (2,2%) – Дон-1500. Комбайнов, произведенных в дальнем зарубежье – 4,6 тыс. десяти разных марок. Таким образом, почти 82% парка составляют комбайны 3 и 4 классов. Парк зерноуборочной техники в основном представлен комбайнами следующих стран: Российская Федерация (ООО «Ростсельхозмаш», ООО «Красноярский комбайновый завод», АО «Промтрактор»); Республика Беларусь (ПО «Гомсельмаш», ПО «Агропромтехника»); Республика Казахстан (АО «Агромашхолдинг»); США (*JohnDeere, Challenger, MasseyFerguson, Case, NewHolland*), Германия (*Claas, DeutzFahr, Fendt*); Италия (*Laverda*); Финляндия (*Sampo*). По данным МСХ РК, 60% зерноуборочных комбайнов имеет срок службы свыше 10 лет, в связи с чем весьма актуален вопрос технического переоснащения парка зерноуборочных машин. Учитывая, что в последние годы существенно изменились организационно-хозяйственные условия по регионам Казахстана за счет увеличения доли крестьянских хозяйств и обострения дефицита механизаторских кадров, этот вопрос не может быть решен автоматической заменой старых комбайнов на новые того же класса.

Цель исследования – обоснование типажа зерноуборочных комбайнов и жаток по регионам Казахстана в связи с их техническим переоснащением.

Материалы и методы. Выбор типажа зерноуборочных комбайнов по классам обосновывают с учетом урожайности убираемых сельскохозяйственных культур, размера посевных площадей в хозяй-

ствах и регионе, наличия механизаторских кадров, а также погодных условий регионов [1-5]. При обосновании типажа зерноуборочных комбайнов исходили из следующих методических допущений:

- в регионах с высокой урожайностью и дефицитом механизаторских кадров следует использовать комбайны более высокого класса;

- уменьшение посевной площади в крестьянских хозяйствах приводит к снижению сезонной нагрузки на комбайн и, как следствие, к снижению класса применяемых комбайнов;

- в регионах с высокой вероятностью осадков целесообразно применять зерноуборочные комбайны более высокой производительности для исключения потерь продукции из-за неблагоприятных погодных условий;

- в регионах со средним уровнем урожайности загрузку комбайна высокого класса по пропускной способности можно обеспечить применением широкозахватных жаток и жаток-хедеров или переходом на раздельную уборку при подборе двоярных валков.

Производительность комбайна при прямом комбайнировании определяется в основном шириной захвата жатки и скоростью движения комбайна. Скорость комбайна при условии полной загрузки его молотилки определяли из условия:

$$V = \frac{36}{BV} q_3 \leq V_d, \quad (1)$$

где V – скорость комбайна, км/ч; q_3 – зональная пропускная способность комбайна хлебной массы при соотношении массы зерна к соломе 1:1,2, кг/с; V_d – допустимая скорость движения комбайнов 3-6 классов, км/ч; B – ширина захвата жатки, м; V – урожайность хлебной массы, т/га.

Степень загрузки молотилки при зональной уро-

жайности зерновых определяли по формуле:

$$C_3 = \frac{B}{q_3} \frac{V}{36} V_3 (1 + \alpha_\phi) 100\%, \quad (2)$$

где C_3 – степень загрузки молотилки; V_3 – урожайность зерна в зональных условиях, т/га; α_ϕ – соломистость хлебной массы (отношение массы соломы к массе зерна), $\alpha_\phi = 1,2$.

Ширину захвата жаток для повышения загрузки зерноуборочных комбайнов по пропускной способности при зональной урожайности зерновых определяли из условия:

$$B = \frac{36q_3}{(1 + \alpha_\phi) V_d V_3} \leq [B], \quad (3)$$

где $[B]$ – максимально возможная ширина захвата хедеров и жаток-хедеров для агрегатирования с комбайнами 3-6 классов.

Результаты и обсуждение. На основе проведенного анализа уровня урожайности, организационно-хозяйственных и погодных условий по регионам Республики Казахстан обоснован перспективный типаж комбайнов и жаток по их классам для уборки зерновых в Казахстане.

Зерноуборочные комбайны классифицируются по величине пропускной способности хлебной массы (кг/с) следующим образом [6, 7]:

- 1 класс с пропускной способностью 0,5-1,5 кг/с – селекционные комбайны;
- 2 класс с пропускной способностью 2,5-3 кг/с, для малых хозяйств площадью 70-100 га;
- 3 класс с пропускной способностью 5,5-6 кг/с, для уборки полей урожайностью менее 25 ц/га;
- 4 класс с пропускной способностью 7-8 кг/с, для уборки полей урожайностью 25-40 ц/га;
- 5 класс с пропускной способностью 9-10 кг/с, для уборки полей урожайностью 40-55 ц/га;
- 6 класс с пропускной способностью 11-12 кг/с, для уборки полей урожайностью 50-60 ц/га;
- 7 класс с пропускной способностью 12-14 кг/с, для уборки полей урожайностью 60-100 ц/га.

В таблице 1 приведена урожайность пшеницы по регионам Казахстана, а средняя урожайность пшеницы за пять лет (2009-2014 гг.) по стране составила 11,5 ц/га.

Средняя и максимальная урожайность пшеницы за пять лет наибольшая в южном регионе, что в основном обусловлено наличием в этом регионе орошаемых земель, на которых возделывается озимая пшеница, где урожайность составляет 40 ц/га и более. Однако возделывание озимой пшеницы на орошаемых землях в последние годы сокращается, так как приоритеты в южном регионе отдаются другим культурам. Следует отметить, что зерноуборочными комбайнами убирают в Республике рис, урожайность которого в урожайные годы со-

ставляет 45 ц/га и более, и кукурузу на зерно, средняя урожайность которой равна 45 ц/га, а максимальная – 70 ц/га. Для уборки этих культур требуются комбайны с высокой пропускной способностью 5 и 6 классов. По данным МСХ РК, из-за изношенности техники потеря урожая в настоящее время составляет не менее 25%. Расчет типажа зерноуборочных комбайнов проводят с учетом возможности уборки потенциальной урожайности без планирования указанных потерь.

Таблица 1			Table 1	
УРОЖАЙНОСТЬ ПШЕНИЦЫ ПО РЕГИОНАМ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН WHEAT YIELD IN SEPARATE REGIONS OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN				
Регион Region	Средняя урожай- ность пшеницы, ц/га, Average wheat yield, c/ha		Максимальная урожайность пше- ницы, ц/га Maximum wheat yield, c/ha	
	факти- ческая actual	потен- циаль- ная potential	факти- ческая actual	потен- циаль- ная potential
Южный Southern	16,5	20,6	20,9	25,0
Восточный Eastern	12,3	15,4	14,2	18,0
Западный Western	5,6	7,0	8,4	10,0
Северный Northern	10,6	13,5	15,3	19,0
Центральный Central	10,5	13,1	11,0	14,0

В таблице 2 приведены размеры посевных площадей по регионам Республики Казахстан.

Наибольшая доля посевных площадей находится в северном регионе. Для этого региона характерно наличие хозяйств различных категорий (фермерских хозяйств, средних и крупных ТОО) с размерами посевных площадей соответственно 300-3000 га; 3000-10000; более 10000 га. Причем крупных и средних хозяйств в регионе более 20%, в них сосредоточен 71% посевных площадей. Начало уборочного периода (третья декада августа) обычно сухое, но в сентябре, как правило, начинаются дожди.

В восточном и южном регионах находится подавляющее большинство (более 90%) мелких фермерских хозяйств посевной площадью от 25 до 500 га. Размеры сельскохозяйственных предприятий этих регионов составляют от 130 до 7000 га [8]. В центральном регионе, как и в северном, характерны крупные и средние сельхозпредприятия, а в западном большую долю (более 80%) составляют мелкие фермерские хозяйства. Осень в южном, центральном и западном регионах обычно сухая.

В структуре комбайнового парка по Республике основу составляют комбайны 3 класса – 77,6%;



Таблица 2		
ПОСЕВНЫЕ ПЛОЩАДИ ПО РЕГИОНАМ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН		
CROP AREAS IN SEPARATE REGIONS OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN		
Регион Region	Посевная площадь / Crop area	
	тыс.га thousand ha	%
Южный Southern	2528	11,6
Восточный Eastern	1358	6,3
Западный Western	1105	5,1
Северный Northern	15521	71,8
Центральный Central	1119	5,2

4 класса – 11,2; 5 класса – 7,8 и 6 класса – 3,4%. Однако по регионам распределение не одинаковое. Так, в южном регионе комбайнов 3 класса – 90,6%; 4 класса – 4,4; 5 класса – 3; 6 класса – 2%. В северном регионе комбайнов 3 класса – 70,7%; 4 класса – 14,6; 5 класса – 8,2; 6 класса – 5,8%.

Таким образом, в северном регионе, где наибольшие площади зерновых с относительно высокой урожайностью, доля высокопроизводительных комбайнов 4, 5 и 6 классов составляет около 30%, в то время как в южном регионе – 9,4%, а в целом по

Республике – 22,4%. Увеличение в северном регионе доли комбайнов высоких классов обусловлено ограниченными сроками благоприятной погоды в осенний период и стремлением сельхозтоваропроизводителей максимально увеличить производительность машин в уборочном процессе при нехватке механизаторов.

Определим производительность и степень загрузки молотилки различных классов комбайнов при разной урожайности зерновых. Рекомендуемая скорость комбайна при прямом комбайнировании – 4-8 км/час [9-11]. Между тем, по результатам испытаний комбайнов 3, 4, 5, 6 классов в КФ КазНИИМЭСХ в условиях регионов Казахстана при низкой урожайности зерновых для комбайнов 3, 4 классов скорости – $V_d \leq 8$ км/ч, для комбайнов 5 класса – $V_d \leq 9$ км/ч и для комбайнов 6 класса – $V_d \leq 10$ км/ч.

Комбайны классов 3-4 недостаточно загружены на уборке хлебов урожайности 12 ц/га (табл. 3). Для повышения их загрузки необходимо использовать жатки с большей шириной захвата. Однако широкозахватные жатки можно эффективно применять в степных районах, в предгорных районах их использование нарушает устойчивость движения уборочного агрегата. Применение комбайна класса 5 типа ACROS-530 с жаткой шириной захвата $[B]=11$ м при уборке хлебостоя урожайностью

Таблица 3							
Производительность комбайнов за 1 час основного времени и степени загрузки на уборке зерновых с различной урожайностью							
PERFORMANCE OF COMBINE HARVESTERS PER 1 HOUR OF OPERATION DEPENDING ON WORK LOAD IN HARVESTING GRAIN CROPS OF DIFFERENT YIELD LEVEL							
	Класс комбайнов и марка Harvester class and make	Исходные условия / Initial conditions					
		Урожайность зерна, т/га Grain yield, q/ha	Пропускная способность, кг/с Thresher capacity, kg/s	Ширина захвата жатки, м Working width, m	Скорость комбайна, км/ч Velocity, km/h	Фактическая подача хлебной массы, кг/с Actual feeding rate, kg/s	Степень загрузки комбайна, % Loading rate, %
3 класс 3 class	СК-5М-1 «Нива» / SK-5M-1 “Niva” СК-5МЭ-1 «Нива-Эффект» / SK-5ME-1 “Niva-Eff.”	12	5,5	6	8	4,8	64
		15	5,5	6	8	4,8	80
		17	5,5	5	8	4,0	91
	Енисей-1200-1НМ / Enisey-1200-1NM	20	5,5	5	7	3,5	93
		12	6,3	7	8	5,6	65
4 класс 4 class	PCM-101 «Вектор» / RSM-101 “Vektor”	15	6,3	7	8	5,6	81
		12	8	7	8	5,6	51
		15	8	7	8	5,6	64
	Палессе GS 07 (КЗС-7) / Palesse GS 07 (KZS-7)	17	8	7	8	5,6	73
		12	8	9	8	7,2	66
		15	8	9	8	7,2	83
5 класс 5 class	ACROS-530 / ACROS-530	17	8	9	8	7,2	93
		12	10	11	8	8,8	65
		15	10	11	8	8,8	81
		17	10	11	8	8,8	83
6 класс 6 class	Палессе GS 12 (КЗС-1218) / Palesse GS 12 (KZS-1218)	40	10	6	6,1	3,7	90
		12	12	12	10	12,0	63
		15	12	12	10	12,0	92
		17	12	12	9	10,8	93
		40	12	6	8	4,8	88

Таблица 4 Table 4						
ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ТИПАЖ ЗЕРНОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ PERSPECTIVE RANGE OF GRAIN COMBINE HARVESTERS						
Класс комбайна Combine harvester class	Регионы / Regions					В целом по РК For Kazakhstan as a whole
	северный northern	южный southern	центральный central	восточный eastern	западный western	
3	–	+	+	+	+	+
4	+	+	+	+	+	+
5	+	+	+	+	+	+
6	+	+	+	–	–	+

зерна 12 ц/га, 15 и 17 ц/га в северном регионе Республики позволяет увеличить фактическую подачу (и производительность) в 1,7-2,5 раза по сравнению с комбайнами 3 класса. При этом средняя загрузка молотилки у комбайна 5 класса составляет 64% при урожайности 12 ц/га, при урожайности 15 ц/га – 80%, при урожайности 17 ц/га – 80%. В первом случае комбайн недогружен примерно на треть, а в последнем загружен практически полностью. При использовании комбайнов 6 класса с жатками захватом 12 м погектарная производительность еще выше, так как эти комбайны работают при урожайности 12-17 ц/га с допустимыми потерями на скорости до 10 км/ч. Таким образом, применение комбайнов 6 класса с широкозахватными жатками может поднять погектарную производительность на уборке зерновых урожайностью 12-17 ц/га вдвое по сравнению с комбайнами 3 и 4 классов.

Соответствие ширины захвата жаток типу зерноуборочных комбайнов определяли по формуле (3). В настоящее время ширина захвата жаток прямого комбайнирования к комбайнам 3 класса составляет 5-6 м; 4 класса – 6-9 м; 5 класса – 6-12 м; 6 класса – 9-12 м. Для повышения загрузки молотилки и производительности уборки комбайнов класса 3, 4, 5 и 6 ширину захвата жаток прямого комбайнирования необходимо увеличить до верхних пределов во всех регионах Казахстана за исключением предгорных районов и полей на поливе.

Проведенный анализ, а также опыт передовых хозяйств северного региона, являющегося основным производителем зерна, позволил выявить перспективный типаж зерноуборочных комбайнов в Республике: это комбайны 3; 4; 5 и 6 классов (табл. 4).

В южном регионе, где возделывают на орошае-

мых землях озимую пшеницу, рис, кукурузу на зерно высокой урожайности, найдут применение комбайны 5 и 6 классов (табл. 4).

Однако в связи со значительной долей мелких фермерских хозяйств основу комбайнового парка составят комбайны 3 класса. В западном и восточном регионах республики, где возделывание зерновых осуществляется на богарных землях при дефиците влаги, следует преимущественно использовать комбайны 3 и 4 классов. Это обусловлено большой долей мелких хозяйств, а также низкой урожайностью зерновых (западный регион). Комбайны более высокого класса целесообразно применять в центральном и западном регионах в крупных и средних сельхозпредприятиях при нехватке механизаторских кадров, а в восточном регионе – при высокой урожайности зерновых. Так, в северном регионе, где более высокая урожайность зерновых и велика доля крупных и средних хозяйств с выраженной нехваткой механизаторских кадров, наиболее эффективны комбайны 5 и 6 классов при условии оснащения их широкозахватными жатками для прямого комбайнирования и раздельной уборки. В более мелких хозяйствах найдут применение комбайны 4 класса, также оснащенные широкозахватными хедерами. Расчеты показывают, что при переходе на перспективный типаж зерноуборочных комбайнов и жаток и при соответствующем их количестве можно обеспечить проведение уборочных работ в требуемые агросроки.

Выводы

1. Установлено, что в условиях основных зерносеющих (северного и центрального) регионов Казахстана, характеризующихся значительной долей крупных и средних хозяйств с выраженной нехваткой механизаторских кадров, наиболее эффективны комбайны 4, 5 и 6 классов при условии оснащения их широкозахватными жатками для прямого комбайнирования и раздельной уборки.

2. В южном регионе, в связи со значительной долей мелких фермерских хозяйств основу комбайнового парка составят комбайны 3 класса. В районах, где возделываются на орошаемых полях озимая пшеница, рис, кукуруза на зерно, имеющие высокую урожайность, могут быть использованы комбайны 5 и 6 классов.

3. В западном и восточном регионах Республики, где возделывание зерновых осуществляется на богарных землях при дефиците влаги, преимущественно используются комбайны 3 и 4 классов. Это обусловлено большой долей мелких хозяйств, а также низкой урожайностью зерновых (западный регион).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чепурин Г.Е., Иванов Н.М., Кузнецов А.В. и др. Уборка и послеуборочная обработка зерновых культур в экстремальных условиях Сибири: Рекомендации. М: Росинформагротех. 2011. 175 с.
2. Жалнин Э.В. Методологические аспекты механизации производства зерна в России. М.: Полиграф-сервис. 2012. 368 с.
3. Астафьев В.Л. Как технику подготовишь, так и убе-



решь // *Запчасти*. КЗ. 2014. N9. С. 24-25.

4. Файффер А. Учесть все факторы // *Новое сельское хозяйство*. 2015. N1. С. 38-40.

5. Воровкин Г.П. Неравномерность созревания и уборка зерновых культур в непогоду: Омск: ВПО «ОмГАУ». 2005. 132 с.

6. Лачуга Ю.Ф., Горбачев И.В., Ежевский А.А., Измаилов А.Ю., 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. Т. 1. Растениеводство. М.: ВИМ, 2012. 303 с.

7. Жалнин Э.В. Типаж комбайнов: какой есть и какой нужен // *Сельский механизатор*. 2012. N8. С. 6-8.

8. Голиков В.А., Усманов А.С., Астафьев В.Л. и др. Система технологий и машин для комплексной механизации растениеводства в Казахстане на период до 2021 года: Рекомендации. Алматы, 2017. 128 с.

9. Bawatharani R., Jayatissa D.N., Dharmasena D.A.N., Bandara M.H.M.A. Impact of Reel Index on Header Losses of Paddy and Performance of Combine Harvesters // *Tropical Agricultural Research*. 2013. Vol. 25. pp. 3-16.

10. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники, часть II. Нормативно-справочный материал. М.: 1998. 251 с.

11. Жалнин Э.В., Ценч Ю.С., Пьянов В.С. Методика анализа технического уровня зерноуборочных комбайнов по функциональным и конструктивным параметрам // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N2. С. 4-8.

REFERENCES

1. Chepurin G.Ye., Ivanov N.M., Kuznetsov A.V. et al. Uborka i posle-uborochnaya obrabotka zernovykh kul'tur v ekstremal'nykh usloviyakh Sibiri: Rekomendatsii [Harvesting and post-harvest treatment of grain crops under extreme conditions of Siberia: Recommendations]. M.: Rosinformagrotekh. 2011: 175. (In Russian)

2. Zhalnin E.V. Metodologicheskiye aspekty mekhanizatsii proizvodstva zerna v Rossii [Methodological aspects of grain production mechanization in Russia]. M.: Poligraf-servis. 2012: 368. (In Russian)

3. Astaf'yev V.L. Kak tekhniku podgotovish', tak i uberesh' [Machinery readiness determines the efficiency of harvesting] // *Запчасти*. КЗ. 2014. N9: 24-25. (In Russian)

4. Faiffer A. Uchest' vse faktory [Taking all factors into account] // *Novoye sel'skoye khozyaystvo*. 2015. N1. 38-40. (In Russian)

5. Vorovkin G.P. Neravnomernost' sozrevaniya i uborka zernovykh kul'tur v nepogodu [Uneven ripening and harvesting of crops in bad weather]: Омск: ВПО «ОмГАУ». 2005. 132. (In Russian)

6. Lachuga Yu.F., Gorbachev I.V., Ezhevskii A.A., Izmailov A.Yu., Kriazhkov V.M., Antyshev N.M., Babchenko V.D., Beilis V.M., Golubkovich A.V., Grishin A.P., Evtushenkov 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. и др. Sistema mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii i avtomatizatsii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na period do 2020 goda

[System of machines and technologies for integrated mechanization and automation of agricultural production for the period until 2020]. Vol. 1. Rasteniyevodstvo [Crop cultivation]. M.: VIM, 2012. 303. (In Russian)

7. Zhalnin Ye.V. Tipazh kombaynov: kakoy yest' i kakoy nuzhen [Range of combines: actually available and required] // *Sel'skiy mekhanizator*. 2012. N8. 6-8. (In Russian)

8. Golikov V.A., Usmanov A.S., Astaf'yev V.L. et al. Sistema tekhnologiy i mashin dlya kompleksnoy mekhanizatsii rasteniyevodstva v Kazakhstane na period do 2021 goda: Rekomendatsii [A system of technologies and machines for integrated mechanization of plant growing in Kazakhstan for the period up to 2021: Recommendations]. Almaty, 2017. 128. (In Russian)

9. Bawatharani R., Jayatissa D.N., Dharmasena D.A.N., Bandara M.H.M.A. Impact of Reel Index on Header Losses of Paddy and Performance of Combine Harvesters // *Tropical Agricultural Research*. 2013. Vol. 25. 3-16. (In English)

10. Metodika opredeleniya ekonomicheskoy effektivnosti tekhnologiy i sel'skokhozyaystvennoy tekhniki, chast' II. Normativno-spravochnyy material [Methodology for determining the economic efficiency of farm production technologies and machinery, Part II. Regulations and reference material]. M.: 1998. 251. (In Russian)

11. Zhalnin E.V., Tsench Yu.S., P'yanov V.S. Analysis method of combine harvesters technical level by functional and structural parameters // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. 12(2). 4-8. (In Russian).

Статья поступила в редакцию 13.06.2018

The paper was submitted
to the Editorial Office on 13.06.2018

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья принята к публикации 06.08.2018

The paper was accepted
for publication on 06.08.2018

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Фракционная технология и устройства послеуборочной обработки и переработки зерна плющением

Петр Алексеевич Савиных,
доктор технических наук, главный научный
сотрудник, e-mail: peter.savinyh@mail.ru;
Юрий Вячеславович Сычугов,
доктор технических наук,
главный научный сотрудник;

Владимир Аркадьевич Казаков,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник

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

Реферат. Применение фракционных технологий послеуборочной обработки и переработки поступающего с поля зерна с целевым использованием получаемых зерновых фракций способствует значительному повышению эффективности отрасли зернового производства. (*Цель исследования*) Разработка фракционной технологии плющения и консервирования фуражного зерна и соответствующих технических средств. (*Материалы и методы*) Проанализировали уровень техники и разработали фракционную технологию послеуборочной обработки и переработки зерна плющением с последующим консервированием фуражной зерновой фракции. Предложили технологическую линию и представили конструктивно-технологические параметры соответствующих технических средств (МЗУ-20Д – машина зерноочистительная универсальная; МПО-30ДФ – машина предварительной очистки зерна с фракционированием; ПЗД-3,1, ПЗД-10 – плющилки зерна двухступенчатые). (*Результаты и обсуждение*) Спроектировали, изготовили и испытали универсальную зерноочистительную машину МЗУ-20Д, которая эффективно очищает от примесей зерновой материал, поступающий с поля после обмолота комбайнами, и разделяет его на фракции: семенное и продовольственное зерно – 60-70 процентов, отходы – до 10 процентов, зернофураж – до 40 процентов. Далее зерно направляется на плющение (для влажного зерна) с последующим консервированием и герметичным хранением полученной продукции до начала скармливания животным. Испытания показали, что разработанная кормоприготовительная машина качественно выполняет технологический процесс. Разработали и подготовили опытный образец плющилки зерна двухступенчатой (ПЗД-3,1), осуществляющей плющение зернового материала в два этапа тремя вальцами с последующим консервированием (для влажного зерна) фуражной зерновой фракции. (*Выводы*) Применение новой фракционной технологии и оборудования увеличивает производительность зерноочистительного сушильного комплекса – на 30-40 процентов, а расчетный годовой экономический эффект от такого обновления составит примерно 400 тысяч рублей. Расчетный годовой экономический эффект от применения плющилки зерна двухступенчатой (ПЗД-3,1) равен более 60 тысяч рублей, а уровень интенсификации производства вырос на 26 процентов по сравнению с плющилкой *MURSKA* производства Финляндии.

Ключевые слова: зерно, фракционирование, технология, консервирование, примеси, плющение, очистка.

■ Для цитирования: Савиных П.А., Сычугов Ю.В., Казаков В.А. Фракционная технология и устройства послеуборочной обработки и переработки зерна плющением // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №4. С. 16-21. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-4-16-21

Fractional Technology and Tools for Post-Harvest Grain Treatment and Processing with Crushing

Peter A. Savinykh,
Dr.Sc.(Eng.), chief research associate,
e-mail: peter.savinyh@mail.ru;

Yury V. Sychugov,
Dr.Sc.(Eng.), chief research associate;
Vladimir A. Kazakov,
Ph.D.(Eng.), senior research associate

Federal Agricultural Scientific Center of North-East named after N.V. Rudnitskiy (North East FASC), Kirov, Russian Federation

Abstract. The use of fractional technologies for post-harvest treatment and processing of grain heap delivered from field with



further special purpose use of grain fractions leads to a significant increase in grain production efficiency. (*Research purpose*) Developing a fractional technology for post-harvest treatment and processing of grain with crushing and preservation of feed grain fraction and designing a technological line and machines for it. (*Materials and methods*) The authors have analyzed the technological level and developed a fractional technology for grain post-harvest treatment and processing by crushing with subsequent preservation of the feed grain fraction. They have offered a technological line and presented the design and technological parameters of the corresponding technical means (МЗУ-20Д - grain cleaning universal machine, МПО-30ДФ - preliminary grain cleaning machine with fractionation, ПЗД-3,1, ПЗД-10 – two-stage grain crusher). (*Results and discussion*) The authors have designed, manufactured and tested a universal grain-cleaning machine МЗУ-20Д. It efficiently cleans grain material coming from the field after its threshing by combine harvesters, and divides it into fractions: seed and feed grain – 60-70 percent, waste material - up to 10 percent, grain fodder - up to 40 percent. Further on, the grain is sent for crushing (for wet grain), followed by preservation and hermetic storage of the products obtained before their feeding to animals. Tests have shown that the developed feed preparation machine efficiently performs the technological process. The authors have developed a two-stage grain crusher (ПЗД-3,1), performing the crushing of grain material in two stages by three rollers, followed by preservation (for wet grain) of the feed grain fraction. (*Conclusions*) It has been established that the use of the new fractional technology and equipment contributes to an increase in grain cleaning productivity – by 30-40 percent, and the estimated annual economic effect of the renovation is 400,000 rubles. The estimated annual economic effect of the use of the two-stage grain crusher (ПЗД-3,1) has proved to be more than 60 thousand rubles, and the level of production intensification has increased by 26 percent as compared to the MURSKA crusher produced in Finland.

Keywords: grain, fractionation, technology, preservation, foreign matter, crushing, cleaning.

■ **For citation:** Savinykh P.A., Sychugov Yu.V., Kazakov V.A. Fractional technology and tools for grain post-harvest treatment and processing with crushing. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. 12(4): 16-21. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-4-16-21. (In Russian)

Применение фракционной технологии послеуборочной обработки (или технологии по целевому назначению продукции) поступающего с поля зернового вороха после обмолота комбайнами на пунктах послеуборочной обработки зерна (ПОЗ) с дальнейшим целевым использованием зерновых фракций и получением из них готового продукта способствует значительному повышению эффективности всей отрасли производства зерна. В связи с этим реконструкция зерноочистительно-сушильных комплексов, их технологических линий и соответствующих технических средств – одна из важных задач по модернизации сельскохозяйственного производства. Для решения этой задачи в ФАНЦ Северо-Востока совместно с ПКБ НИИСХ Северо-Востока разработаны новые технологии и технологические линии, например, фракционная технология послеуборочной обработки зерна и технология переработки зернофуража для получения из него конечного продукта (готового корма для животных) – плющеного консервированного влажного зерна, а также технические средства для осуществления названных процессов – фракционные зерноочистительные машины и плющилки зерна.

Цель исследования – разработка фракционной технологии плющения и консервирования фуражного зерна, технологической линии и технических средств для ее осуществления; создание машины для фракционирования зернового материала с очисткой от примесей и двухступенчатой плющилки сухого и влажного зерна.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Существующие пункты и комплексы послеуборочной обработки зерна не обеспечивают требуемую глубокую переработку, необходимую в частности при производстве концентрированных (зерновых) кормов для животноводства, непосредственно пригодных к скармливанию [1, 2]. В ФАНЦ Северо-Востока создана конструктивно-технологическая схема фракционной обработки и переработки зернового материала (вороха) с выделением фуражной фракции и последующим ее плющением и консервированием (рис. 1) [3, 4]. Принцип ее действия состоит в следующем. Зерновой ворох из завальной ямы (ЗЯ) или аэрожелоба подается в машину предварительной очистки зерна (МПО), где очищается от примесей воздушным потоком и на решетных станах, а также разделяется на основную (семенное и продовольственное зерно, 60-70%), фуражную фракции (до 40%) и отходы (5%). Основная фракция – полноценное зерно – по зернопроводам подается в бункер резерва влажного зерна (БРВЗ), где проводится дальнейшая его обработка по известным технологиям. Очищенная фуражная фракция поступает в бункер влажного фуражного зерна (БВФЗ).

В соответствии с известными технологиями послеуборочной обработки зернового вороха влажное фуражное зерно подают в сушилку фуражного зерна (СФЗ) с жестким режимом сушки либо консервируют [3]. Отходы, выделенные МПО из зернового материала, направляются в бункер неиспользуемых отходов (БНО). Количество фуражного зер-

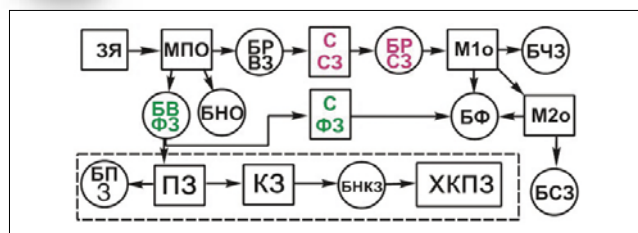


Рис. 1. Схема фракционной технологии переработки зернового вороха с последующим плющением фуражной фракции: ЗЯ – завальная яма; МПО – машина предварительной очистки зерна; ССЗ, СФЗ – сушиллки зерна; М1о, М2о – машины очистки сухого зерна; ПЗ – плющилка зерна; КЗ – консервирование зерна; БНО, БРВЗ, БРСЗ, БФ, БЧЗ, БСЗ, БПЗ, БНКЗ – бункеры зерна; ХКПЗ – хранилище плющеного зерна

на, поступившего в бункер БВФЗ, составляет 30-40% от общего количества поступающего с поля, а его качество должно удовлетворять зоотехническим требованиям к технологии приготовления концентрированных кормов и соответствовать требованиям ГОСТ 9267-68, ГОСТ 9268-90, ГОСТ 18221-72.

В предлагаемой (новой) технологии выделенная и очищенная от примесей зерноочистительной машиной фуражная зерновая фракция из бункера БВФЗ зернопроводами подается на плющение, которое обеспечивает машина приготовления концентрированных кормов – плющилка зерна (ПЗ), а производимый ею корм (плющенное зерно) должен соответствовать требованиям ТУ 8-22-39-88. Полученное плющенное зерно подается в бункер-накопитель БПЗ, откуда как полноценный концентрированный корм поступает или на скормливание животным, или на консервирование (КЗ). Плющенное консервированное зерно подается в бункер-накопитель БКПЗ, откуда забирается для закладки на хранение.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Повышение эффективности послеуборочной обработки зерна требует реконструкции зерноочистительно-сушильных линий комплексов ПОЗ с возможностью применения технологий плющения зерна [5]. Для решения этой задачи специалистами ПКБ НИИСХ Северо-Востока разработана технологическая линия (рис. 2), установленная на зерноперерабатывающем комплексе в СПК «Заря» Нагорского района Кировской области.

Технологический процесс комплекса представляет собой последовательность определенных операций. Влажный зерновой ворох выгружается в приемное устройство с аэрожелобом, откуда воздушным потоком направляется в норию, которая подает его в машину предварительной очистки зер-

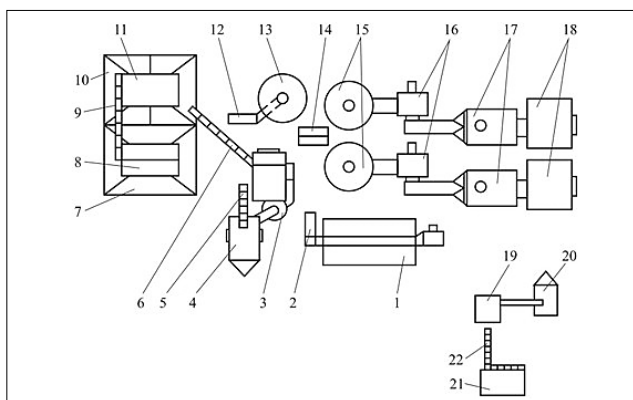


Рис. 2. Технологическая схема семяочистительно-сушильного комплекса послеуборочной обработки зерна, расположенного в СПК «Заря» Нагорского района Кировской области: 1 – аэрожелоб; 2, 12, 14 – нории; 3 – машина предварительной очистки зерна с возможностью фракционирования МПО-30ДФ; 4 – бункер отходов; 5, 6, 9, 22 – транспортеры; 7, 10 – блок бункеров зерна; 8 – триер; 11 – машина вторичной очистки; 13 – бункер отлежки зерна; 15 – сушильные бункера; 16, 17, 18 – машины обработки сухого зерна; 19 – плющилка; 20 – прицеп; 21 – приемный бункер

на с возможностью фракционирования МПО-30ДФ.

Очищенное зерно также подается скребковым транспортером в бункер секции влажного зерна или самотеком – в одну из секций нории, которая загружает сушильные бункеры. Далее высушенное зерно, выгруженное во вторую секцию нории, отправляется в бункеры для охлаждения и отлежки, а затем норией подается в машину вторичной очистки. Отсортированное зерно отправляется транспортером на триерную очистку, а затем в бункер чистого зерна, откуда попадает на склад готовой продукции. Фуражные отходы от триерного блока и машины вторичной очистки МВО-8Д загружаются в секцию сухого фуражного зерна бункера. Зерновой материал, поступивший в секцию влажного зерна бункера, выгружается в автотранспорт и перевозится под навес в приемный бункер, а затем скребковым транспортером подается в плющилку. Обработанное консервантом плющенное зерно загружается шнеком плющилки в прицеп и отправляется на хранение или используется на корм животным. Возможно также плющение сухого фуражного зерна из бункера.

Применение новой фракционной технологии и оборудования при реконструкции зерноочисти-

тельного комплекса в СПК «Заря» Нагорского района Кировской области. Технологический процесс комплекса представляет собой последовательность определенных операций. Влажный зерновой ворох выгружается в приемное устройство с аэрожелобом, откуда воздушным потоком направляется в норию, которая подает его в машину предварительной очистки зер-

тельного комплекса в СПК «Заря» Нагорского района Кировской области. Технологический процесс комплекса представляет собой последовательность определенных операций. Влажный зерновой ворох выгружается в приемное устройство с аэрожелобом, откуда воздушным потоком направляется в норию, которая подает его в машину предварительной очистки зер-

тельно-сушильного комплекса, расположенного в СПК «Заря» Нагорского района Кировской области, способствовало повышению его производительности до 30-40%, а расчетный годовой экономический эффект от обновления названного комплекса составил почти 400 тыс. рублей.

Для увеличения эффективности сельскохозяйственных технологий послеуборочной (в том числе фракционной) обработки и переработки зерна специалистами НИИСХ Северо-Востока разработаны зерноочистительные машины и плющилки зерна и налажено их производство [6-9].

С учетом результатов экспериментальных исследований процесса послеуборочной обработки и переработки зерна, а также анализа и мониторинга ключевых показателей и соответствующих технических средств разработана универсальная зерноочистительная машина МЗУ-20Д (патенты N2513391 RU, N2371262 RU). Названное устройство предназначено для фракционирования зерна и семян различных культур, первичной и вторичной очистки их от примесей и может применяться практически во всех сельскохозяйственных агротехнических зонах РФ.

Принцип работы технологической схемы (рис. 3) созданной зерноочистительной машины состоит в следующем. Зерновая смесь по зернопроводу поступает в питающее устройство, равномерно распределяется разравнивающим шнеком по ширине машины, затем подается в первый пневмосепарирующий канал, где воздушным потоком из зерновой смеси удаляются легкие примеси (полова, частицы соломы, семена сорных растений, пыль). После очистки в первом пневмоканале материал поступает на верхнее решето решетного стана, которое отделяет идущие сходом с него и выводимые лотком за пределы машины крупные примеси, а очищенное зерно поступает на среднее делительное решето. Среднее решето отделяет крупное полноценное зерно (фракция семенного и продовольственного зерна), которое сходом попадает во второй пневмосепарирующий канал, где происходит отделение легких примесей. На нижнем решете выделяются мелкие примеси, которые сквозь нижнее решето сходят по днищу нижнего решетного стана и через лоток выводятся из машины. Зерно (фракция фуражного зерна), идущее сходом, подается в третий пневмоканал, очищается от примесей, после чего выводится наружу и отправляется на плющение. Воздушный поток с легкими примесями из первого пневмоканала последовательно поступает в первую пылеосадочную камеру, затем – во вторую и диаметральный вентилятор подается в осадочную камеру пылеуловителя. Осевшие в камерах примеси выводятся шнеками за пределы машины. Таким образом, зерноочистительная машина МЗУ-20Д обеспечивает выход очищенной фуражной зерновой фракции (сход с нижнего реше-

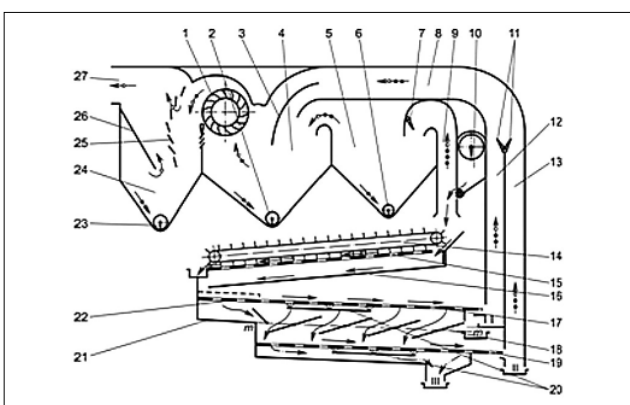


Рис. 3. Технологическая схема и общий вид машины зерноочистительной универсальной (МЗУ-20Д):

1 – питающее устройство; 2 – первый пневмосепарирующий канал; 3 – верхнее решето; 4 – верхний решетный стан; 5 – среднее делительное решето; 6 – второй пневмосепарирующий канал; 7 – днище нижнего решетного стана; 8, 9 – первая и вторая пылеосадочные камеры; 10 – диаметральный вентилятор; 11 – осадочная камера пылеуловителя

Fig. 3. Flow chart and general view of the universal grain cleaning machine (MZU-20D):

1 – feeding device; 2 – first pneumatic separating channel; 3 – upper sieve; 4 – upper grating; 5 – average dividing sieve; 6 – second pneumatic separating channel; 7 – the bottom part of the lower grating mill; 8, 9 – first and second dust chamber; 10 – diametral fan; 11 – sedimentary chamber of the dust collector

та) для последующего ее плющения и консервирования (для влажного зерна).

Изготовлена опытная модель универсальной зерноочистительной машины МЗУ-20Д. Специалистами Кировской МИС проведены предварительные ее испытания в СПК «Рассвет» Немского района Кировской области. По их результатам установлено, что названная модель качественно осуществляет технологический процесс по очистке зернового материала от легких, крупных и мелких примесей, а ее конструкционно-технологические параметры соответствуют требованиям ТЗ и НД, в том числе по показателям назначения, энергооценки и безопасности конструкции. Машина соответствует требованиям технологии послеуборочной обработки зерна

и семян и может успешно использоваться в сельскохозяйственных предприятиях. Кировская МИС рекомендует представить зерноочистительную машину МЗУ-20Д на приемочные испытания.

Для получения зернового плющеного корма, в том числе из фуражной зерновой фракции, выделяемой из поступающего после обмолота в поле зернового вороха и очищаемой от примесей вышеуказанными зерноочистительными машинами, разработана плющилка зерна двухступенчатая (ПЗД-3.1) производительностью 3 т/ч, общий вид и конструктивно-технологическая схема которой представлена на рисунке 4.

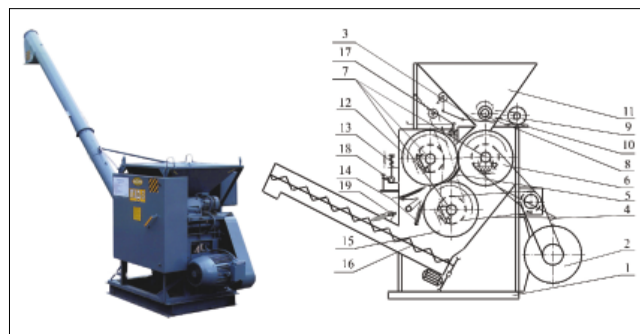


Рис. 4. Общий вид и конструктивно-технологическая схема опытного образца ПЗД-3.1:

1 – рама; 2, 9 – электродвигатели; 3 – заслонка; 4 – ременная передача; 5 – очищающий нож; 6 – верхний валец; 7 – опоры; 8 – питатель; 10 – цепная передача; 11 – питательный бункер; 12 – боковой валец; 13 – защитное устройство; 14 – очищающие ножи; 15 – нижний валец; 16 – выгрузной транспортер; 17, 18 – регуляторы зазоров; 19 – форсунка

Fig. 4. General view and scheme of ПЗД-3.1 grain crusher:

1 – frame; 2, 9 – electric motor; 3 – flap; 4 – belt drive; 5 – cleaning knife; 6 – upper shaft; 7 – supports; 8 – feeder; 10 – chain drive; 11 – feed hopper; 12 – side shaft; 13 – protective device; 14 – cleaning knives; 15 – lower shaft; 16 – discharge conveyor; 17, 18 – gap regulators; 19 – nozzle

Для обоснования двухступенчатого рабочего процесса получения плющеного зернового корма проведены эксперименты при одно- и двухступенчатом плющении зерна, которые позволили определить влияние различных конструктивно-технологических факторов на пропускную способность, потребляемую мощность вальцового станка (плющилки зерна) и качество готового продукта, что позволило дать оценку целесообразности применения двухступенчатого плющения перед одноступенчатым.

По результатам экспериментальных исследований построены графики зависимости изменения удельных энергозатрат q от входного межвальцового зазора h_1 первой ступени для одноступенчатого и двухступенчатого плющения (рис. 5).

На рисунке 5 показана зона 1 для одноступенчатого плющения и зона 2 для двухступенчатого плющения, которые определяют отвечающие зоо-

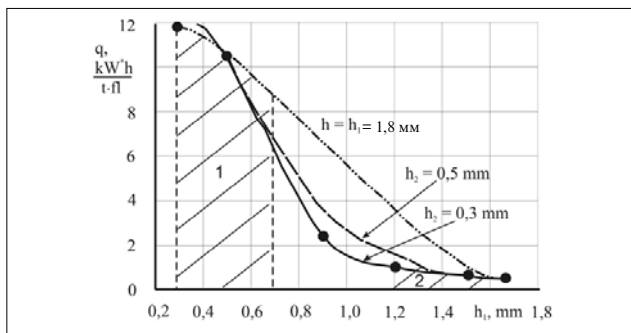


Рис. 5. Зависимость изменения удельных энергозатрат q от входного межвальцового зазора h_1 первой ступени плющения
Fig. 5. Dependence of specific energy consumption change q on the input flange clearance h_1 of the first stage of crushing

техническим требованиям пределы использования готового продукта, от выходного межвальцового зазора. Из анализа этих зон видно, что использование двухступенчатого плющения по сравнению с одноступенчатым позволяет сократить минимум в несколько раз удельные энергозатраты (разница площадей зон 1 и 2). Кроме того, использование двухступенчатого плющения позволяет плющить зерно вальцами с гладкой рабочей поверхностью большей пропускной способности при меньшей энергоемкости процесса, с выходом хлопьев, отвечающих зоотехническим требованиям, что свидетельствует о высокой эффективности его применения.

С учетом этих исследований разработан и изготовлен опытный образец зерноплющилки ПЗД-3.1 и проведены испытания в производственных условиях. Дана экономическая оценка технического средства для плющения зерна различных культур с одновременным внесением консервантов. Аналогом для расчета экономической эффективности выбрана одноступенчатая зерноплющилка с двумя рифлеными вальцами с возможностью одновременного внесения консерванта MURSKA-350S. Согласно расчетам годовой экономический эффект от применения технического средства для плющения зерна с одновременным внесением консервантов ПЗД-3.1 (при годовой нагрузке в хозяйстве на плющилку 1000 т) составляет $\mathcal{E}_r = 60\,833$ руб., а уровень интенсификации сельскохозяйственного производства для ПЗД-3.1 в сравнении с плющилкой MURSKA-350S производства Финляндии составил 26%.

Выводы. Задача повышения эффективности послеуборочной обработки и переработки зерна решается методом реконструкции зерноочистительных-сушильных комплексов. Это позволит использовать, например, фракционную технологию плющения и консервирования влажного фуражного зерна, повысить производительность всего комплекса на 30-40% и произвести плющенный зерновой корм непосредственно на местах получения и переработки сырья. Использование в технологических лини-



ях послеуборочной обработки зерна новых воздушно-решетных машин позволяет эффективно фракционировать поступающий на переработку зерновой ворох, а полученные зерновые фракции использовать по целевому назначению: из полноценного зерна получать семена и продукты питания, из фуражного – готовый плющенный корм для различных групп сельскохозяйственных животных. Применение

машины для получения плющеного корма – плющилки зерна двухступенчатой (ПЗД-3,1) – существенно снижает затраты на производство кормов, например, расчетный годовой экономический эффект от применения плющилки зерна двухступенчатой (ПЗД-3,1) вместо *MURSKA-350S* – Э_г = 60 833 руб., а уровень интенсификации составит 26%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сысуйев В.А., Сыроватка В.И., Попов В.Д. и др. Рекомендации по заготовке и использованию высоковлажного фуражного зерна. М.: Россельхозакадемия. 2006. 130 с.
2. Сысуйев В.А., Русаков Р.В. и др. Способ подготовки зерна озимой ржи в кормлении крупного рогатого скота и птицы. Рекомендации. Киров: НИИСХ Северо-Востока. 2012. 31 с.
3. Сысуйев В.А., Савиных П.А., Казаков В.А. Технология двухступенчатого плющения фуражного зерна // *Достижения науки и техники АПК*. 2012. №6. С. 70-72.
4. Сычуглов Н.П., Сычуглов Ю.В., Исупов В.И. Механизация послеуборочной обработки зерна и семян трав. Киров: ФГУИПП «Вятка». 2003. 368 с.
5. Sysuev V., Semjons I., Savinyh P., Kazakov V. The

- movement and transformation of grain in a two-stage crusher // In: *Engineering for Rural Development, Proceedings*. 14. Jelgava. 2016. pp. 22-27.
6. Ромалийский В.С. Плющилка для влажного зерна // *Комбикорма*. 2004. №2. С. 23-25.
7. Sebestuen E.J. Grinding of animal feeding stuffs // *Journal of Flaut and Animal Feed Milling*. May. 1974. p. 128.
8. Измайлов А.Ю. Технологии и технические решения по повышению эффективности транспортных систем АПК. М.: Росинформагротех. 2007. 197 с.
9. Измайлов А.Ю. Повышение уровня использования транспорта в сельском хозяйстве // *Техника в сельском хозяйстве*. 2006. №2. С. 8-10.

REFERENCES

1. Sysuyev V.A., Syrovatka V.I., Popov V.D. et al. Rekomendatsii po zagotovke i ispol'zovaniyu vysokovlazhnogo furazhnogo zerna [Recommendations for obtaining and use of high-moisture feed grain]. M.: Rossel'khozakademiya, 2006. 130. (In Russian).
2. Sysuyev V.A., Rusakov R.V. et al. Sposob podgotovki zerna ozimoy rzhi v kormlenii krupnogo rogatogo skota i ptitsy. Rekomendatsii [A method for preparing winter wheat rye for feeding cattle and poultry. Recommendations]. Kirov: NIISKH Severo-Vostoka, 2012. 31. (In Russian).
3. Sysuyev V.A., Savinykh P.A., Kazakov V.A. Tekhnologiya dvukhstupenchatogo plyushcheniya furazhnogo zerna [Technology of two-stage crushing of feed grain] // *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2012. 6. 70-72. (In Russian).
4. Sychugov N.P., Sychugov Yu.V., Isupov V.I. Mekhanizatsiya posleuborochnoy obrabotki zerna i semyan trav [Mechanization of post-harvest processing of grain and grass seeds]. Kirov: FGUIPP "Vyatka". 2003. 368. (In Russian).

5. Sysuev V., Semjons I., Savinyh P., Kazakov V. The movement and transformation of grain in a two-stage crusher // In: *Engineering for Rural Development, Proceedings*. 14. Jelgava. 22-27.
6. Romaliyskiy V.S. Plyushchilka dlya vlazhnogo zerna [Wet grain crusher] // *Kombikorma*. 2004. №2: 23-25. (In Russian).
7. Sebestuen E.J. Grinding of animal feeding stuffs // *Journal of Flaut and Animal Feed Milling*. 1974. Mau. 128. (In English)
8. Izmaylov A.Yu. Tekhnologii i tekhnicheskiye resheniya po povysheniyu effektivnosti transportnykh sistem APK [Technologies and technical solutions aimed at improving the efficiency of transport systems used in farm enterprises]. M.: Rosifnormagrotekh. 2007. 197. (In Russian).
9. Izmaylov A.Yu. Povysheniye urovnya ispol'zovaniya transporta v sel'skom khozyaystve [Increasing the level of using transport in agriculture] // *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 2006. №2: 8-10. (In Russian).

Статья поступила в редакцию 06.04.2018
The paper was submitted
to the Editorial Office on 06.04.2018

Статья принята к публикации 20.07.2018
The paper was accepted
for publication on 20.07.2018

Конфликт интересов.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Предпосевная обработка семян подсолнечника, сои и кукурузы низкочастотным электромагнитным излучением

Нелли Семеновна Левина,

старший специалист;

Юлия Викторовна Тертышная,

кандидат химических наук, старший научный сотрудник, e-mail: moraxella@bk.ru;

Ирина Александровна Бидей,

лаборант-исследователь;

Ольга Владимировна Елизарова,

лаборант-исследователь

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Предпосевная обработка семян различными энергетическими методами применяется как эффективный способ пробуждения семенного материала. (*Цель исследования*) Рассмотреть влияние низкочастотного электромагнитного поля на посевные свойства семян подсолнечника (*Helianthus*), сои (*Glycine max*) и кукурузы (*Zea mays* L.). (*Материалы и методы*) Параметры электромагнитного поля: индукция 16 миллитесла, частота следования импульсов 16 герц; время воздействия 15 и 20 минут. Провели эксперимент в два этапа. Первый этап – определение энергии прорастания и всхожести облученных и необлученных семян, а также биометрических показателей проростков: массы стеблей и листьев, длины и массы корневой системы. Второй этап – фенологические наблюдения за ростом растений по фазам их развития в климатической камере ВИМ. (*Результаты и обсуждение*) Показали, что посевные качества семян кукурузы после 15 минут облучения выше контрольных. Определили, что энергия прорастания по сравнению с контролем увеличилась на 10 процентов, всхожесть – на 8, масса проростка – на 6,4 процента, масса стеблей и листьев – на 16, корневой системы – на 3,4 и высота стебля – на 30 процентов. Обнаружили отсутствие влияния низкочастотного электромагнитного излучения на всхожесть сои как в лабораторных условиях, так и в климатической камере. Установили, что по завершении вегетационного периода масса растений, облученных в течение 20 минут, оказалась больше контрольных значений на 20 процентов, масса корней – на 25, их длина – на 16 процентов. Определили, что обработка семян подсолнечника (*Helianthus*) низкочастотным электромагнитным полем не оказала стимулирующего действия на энергию прорастания и всхожесть, но способствовала увеличению массы растений при их выращивании в фитотроне. Рассчитали, что 15-минутное облучение семян подсолнечника перед посевом привело к увеличению массы растений на 34,9 процента; массы корневой системы – на 22; длины корней – на 3,65; диаметра корзинок – на 5,3 и их массы – на 25,3 процента. (*Выводы*) Отклик растений на энергетическое воздействие зависит от вида сельскохозяйственной культуры. Выявили, что низкочастотное магнитное излучение, не изменяя посевные свойства семян, может положительно влиять на рост и развитие растений. **Ключевые слова:** семена подсолнечника, семена сои и кукурузы, энергия прорастания, всхожесть, низкочастотное электромагнитное излучение, биометрические показатели.

■ **Для цитирования:** Левина Н.С., Тертышная Ю.В., Бидей И.А., Елизарова О.В. Предпосевная обработка семян подсолнечника, сои и кукурузы низкочастотным электромагнитным излучением // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №4. С. 22-28. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-4-22-28

Pre-sowing Treatment of Sunflower, Soybean and Maize Seeds with Low-Frequency Electromagnetic Radiation

Nelly S. Levina,

senior expert;

Yulia V. Tertyshnaya,

PhD(Chem), senior researcher,

e-mail: moraxella@bk.ru;

Irina A. Bidey,

laboratory assistant-research engineer;

Olga V. Elizarova,

laboratory assistant-research engineer

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. Pre-sowing seed treatment by various energy methods is used as an effective way of stimulating the seed material. (Research purpose) The authors have studied the effect of a low-frequency electromagnetic field on the seed properties

of sunflower (*Helianthus*), soybean (*Glycine max*) and maize (*Zea mays* L.) seeds. (Materials and methods) Parameters of the electromagnetic field: induction of 16 mT, pulse repetition rate of 16 Hertz I; exposure time of 15 and 20 minutes. The experiment has been conducted in two stages. The first stage is the determination of the germination and germination energy of irradiated and non-irradiated seeds, as well as the biometric characteristics of seedlings: the mass of stems and leaves, the length and mass of the root system. The second stage is the phenological observations of the growth and development of plants according to the phases of their development in the VIM climatic chamber. (Results and discussion) It has been shown that the sowing qualities of maize seeds after 15 min of irradiation are higher than the control ones. It has been determined that germination energy has increased by 10 percent as compared to the control sample, germination by 8 percent, seedling weight by 6.4 percent, weight of stems and leaves by 16, root system by 3.4 and stem height by 30 percent. It has been found that there is no influence of low-frequency electromagnetic radiation on the germination of soybeans both in the laboratory and in the climate chamber. It has been found that at the end of the growing season, the mass of plants irradiated for 20 minutes has turned out to be greater than the control values by 20%, the root mass by 25%, and the root length by 16%. The authors have determined that the treatment of sunflower seeds (*Helianthus*) with a low-frequency electromagnetic field has no stimulating effect on germination energy and germination capacity, but contributes to an increase in the mass of plants when they are grown in a phytotron. It has been calculated that a 15-minute irradiation of sunflower seeds before sowing resulted in an increase in the mass of plants by 34.9%; the mass of the root system – by 22%; length of roots – by 3.65%; the head (anthodium) diameter – by 5.3% and their weights – by 25.3 %. (Conclusions) The response of plants to the energy impact depends on the type of crop. It has been determined that low-frequency magnetic radiation without changing the sowing properties of seeds can positively influence the growth and development of plants.

Keywords: sunflower seeds, soybean and corn seeds, germination energy, germination, low-frequency electromagnetic radiation, biometric indicators.

■ **For citation:** Levina N.S., Tertyshnaya Yu.V., Bidey I.A., Elizarova O.V. Pre-sowing treatment of sunflower, soybean and maize seeds with low-frequency electromagnetic radiation. *Selskokhozaistvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. 12(4): 22-28. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-4-22-28. (In Russian).

Улучшение качества семенного материала и, как следствие, повышение урожайности – важнейшая задача агропромышленного комплекса России. На протяжении многих лет разрабатываются новые методы и технологии возделывания, обработки и сохранности сельскохозяйственных культур [1-3].

Поскольку при хранении семян их биоэнергетический запас истощается, предлагается использование различных энергетических воздействий для эффективного пробуждения семенного материала, здорового роста и развития растений [4-6].

В последние годы для интенсификации растениеводства в практику сельского хозяйства стали активно внедрять электрофизические методы воздействия на растения и семена зерновых, овощных, бобовых культур [7, 8]. Существуют такие физические методы воздействия на посевной материал, как электромагнитное поле различных диапазонов, γ -излучение, ультрафиолетовое, инфракрасное, лазерное излучение, электрическое поле коронного разряда, ультразвуковое воздействие [9, 10]. Во многих работах показано их воздействие на улучшение посевных качеств зерновых и овощных культур, а также повышение сохранности урожая плодово-ягодных культур [11-14]. Несмотря на положительные результаты воздействия различных видов излучения и длительные исследования одно-

значного мнения по этому поводу нет. Предлагается несколько механизмов действия: стрессовый ответ системы, влияние на фотосинтетическую активность и порфириновый отклик, изменение структуры воды и др.

В представленной авторами работе изучено влияние одного из эффективных методов облучения – низкочастотного электромагнитного поля. Полноценность работы заключается в комплексном исследовании посевных качеств семян кукурузы, сои и подсолнечника в лабораторных условиях и в ходе фенологических наблюдений в фитотроне.

Цель исследования – определение посевных свойств подсолнечника (*Helianthus*), сои (*Glycine max* L.) и кукурузы (*Zea mays* L.), а также биометрических показателей морфологических органов растений после воздействия низкочастотного электромагнитного излучения.

Материалы и методы. Для эксперимента отобрали семена сои сорта «Славия», гибрида кукурузы «Краснодарский 291-АМВ», созданного Краснодарским НИИСХ им. П.П. Лукьяненко, и подсолнечника сорта «Добрыня». Семена выдерживали в низкочастотном электромагнитном поле с индукцией 16 мТл, частотой следования импульсов 16 Гц в течение 15 и 20 мин.

Необлученные образцы семян использовали в качестве контроля. Обработка семян была прове-

дена за две недели до начала экспериментальных исследований по оценке влияния низкочастотного электромагнитного излучения на посевные свойства, рост и развитие растений.

Исследования проводили в два этапа. На первом этапе определяли энергию прорастания и всхожести облученных и необлученных семян, а также биометрические показатели проростков: массу стеблей и листьев, длину и массу корневой системы.

На втором этапе – фенологические наблюдения за ростом и развитием растений по фазам их развития в климатической камере ВИМ. В камере были установлены контейнеры размером 40×60×45 мм, заполненные почвогрунтом. Во время вегетации растений в климатической камере ежедневно наблюдали за их ростом и развитием.

Определение посевных показателей семян проводили в соответствии с методикой, изложенной в ГОСТ 12038-84. Проращивание семян крупносемянных культур (сои, кукурузы, подсолнечника) проводили в растильнях, наполненных увлажненным песком. Количество семян в пробе составляло 50 шт. при четырехкратной повторности. Энергию прорастания определяли на 5-е сут., всхожесть – на 8-е сут. после посева. Биометрические показатели проростков (фаза всходов) определяли у 10 растений, в фазе уборки – у всех оставшихся.

В конце вегетации растения осторожно извлекали из контейнеров вместе с корневой системой и провели замеры: высоты, массы надземной части растений и их корневой системы.

В *таблицах* представлены среднеарифметические значения величин. Относительная ошибка не превышала 3%.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Кукуруза. Результаты лабораторных исследований по оценке влияния низкочастотного электромагнитного поля на посевные свойства семян гибрида кукурузы «Краснодарский 291-АМВ» и биометрические показатели проростков приведены в *таблице 1*.

Анализ полученных данных показал, что предпосевная обработка семян кукурузы низкочастотным электромагнитным полем в течение 15 и 20 мин оказала положительное влияние на процесс выхода семян из состояния покоя. Значения энергии прорастания и всхожести семян кукурузы при обработке их в течение 15 и 20 мин. возросли на 10% по сравнению с контролем.

Наиболее высокие показатели массы проростка, его зеленой массы (стебель, листья), корневой системы, а также содержание сухого вещества получены при обработке семян в течение 15 мин. Увеличение времени предпосевного воздействия на семена кукурузы до 20 мин привело к значительному снижению биометрических показателей проростков по сравнению с контролем [15].

Table 1		Таблица 1		
ОТКЛИК БИОСИСТЕМ СЕМЯН КУКУРУЗЫ И ИХ ПРОРОСТКОВ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ THE RESPONSE OF BIOSYSTEMS OF MAIZE SEEDS AND THEIR SEEDLINGS TO THE EFFECT OF ELECTROMAGNETIC RADIATION				
Контролируемые параметры Controlled parameter	Время облучения семян (τ), мин Time of irradiation of seeds (τ), min			
	0 (Конт- роль) (Control)	15	20	
Энергия прорастания, % Energy germinations, %	85,0	95,0	95,0	
Всхожесть, % Germination, %	90,0	98,0	100,0	
Масса проростка, г Weight of seedling, g	1,266	1,347	1,181	
Зеленая масса, г Green mass, g	0,308	0,357	0,290	
Масса корней, г Mass of roots, g	0,958	0,991	0,891	
Высота растений, см Height of plants, sm	9,8	12,85	11,35	
Содержание сухого веще- ства в проростке, % Dry content in the seedling, %	86,29	86,93	86,82	

На втором этапе оценивали воздействие низкочастотного электромагнитного поля на рост и развитие растений кукурузы в условиях климатической камеры.

Во время вегетации кукурузы в климатической камере проводили ежедневные наблюдения за ростом и развитием растений (*рис. 1*). Первые всходы появились через 8 сут. после посева.



Рис. 1. Растения кукурузы (Zea mays L) в климатической камере ВИМ

Fig. 1. The process of growing maize plants (Zea mays L) in the climatic chamber of the VIM

По окончании вегетации провели замеры: высоту и массу растений с корневой системой; массу надземной части растений, длину и массу корней.

Биометрические показатели растений, выросших из семян, облученных низкочастотным электромагнитным полем в течение 15 мин, оказались

Table 2		Таблица 2	
БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОРГАНОВ РАСТЕНИЙ КУКУРУЗЫ, ВЫРАЩЕННЫХ В КЛИМАТИЧЕСКОЙ КАМЕРЕ BIOMETRIC INDICATORS OF MORPHOLOGICAL ORGANS MAIZE PLANTS GROWN IN A CLIMATIC CHAMBER			
Контролируемые параметры Controlled parameter	Время облучения семян (τ), мин Time of irradiation of seeds (τ), min		
	0 (Конт- роль) (Control)	15	20
Высота надземной части растения, см Height of the aerial part plants, sm	78,33	81,46	74,66
Масса надземной части растения, г Mass of the aerial part plants, g	18,47	20,09	14,31
Длина корней, см Length of the roots, sm	17,55	20,56	14,44
Масса корней, г Mass of the roots, g	0,66	0,75	0,57

значительно выше аналогичных данных, полученных при 20-минутном облучении. Высота надземной части растений оказалась больше контрольных значений на 4%, масса надземной части – на 8,8, длина корней – на 17,2 и масса корней – на 13,6%.

Подсолнечник. Анализ данных, полученных в



Рис. 2. Морфологические части растений подсолнечника и семенного материала после уборки

Fig. 2. Morphological parts of plantssunflower and seeds after harvesting

Table 3		Таблица 3		
ПОСЕВНЫЕ СВОЙСТВА СЕМЯН И БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРОСТКОВ И РАСТЕНИЙ ПОДСОЛНЕЧНИКА				
SOWING PROPERTIES OF SEEDS AND BIOMETRIC INDICATORS OF SEEDLINGS AND SUNFLOWER PLANTS				
Контролируемые параметры Controlled parameter	Время облучения семян (τ), мин Time of irradiation of seeds (τ), min			
	0 (Конт-роль) (Control)	15	20	
Фаза всходов (лабораторные условия) The phase of germination (laboratory conditions)				
Энергия прорастания, % Germination energy, %	63,0	65,0	70,0	
Всхожесть, % Germination, %	95,0	85,0	95,0	
Масса проростков, г Weight of seedling, g	1,483	1,423	1,357	
Масса надземной части, г Mass of the aerial part plants, g	0,977	1,049	1,026	
Масса корня, г Mass of the root, g	0,513	0,374	0,331	
Высота растения, см Height of a plant, sm	9,8	12,85	11,35	
Содержание сухого вещества в проростке, % Dry content in the seedling, %	81,76	81,84	82,13	
Фаза уборки (климатическая камера) Harvesting phase (climate chamber)				
Масса растения, г Weight of a plant, g	28,05	37,83	31,15	
Высота растения, см Height of a plant, sm	108,5	108,33	114,67	
Масса корня, г Mass of the root, g	2,11	2,58	2,26	
Длина корня, см Length of the root, sm	11,5	11,92	13,17	
Диаметр корзинки, см Diameter of flower heads, sm	5,08	5,35	6,34	
Масса корзинки, г Weight of flower heads, sm	16,61	20,85	15,07	

лабораторных условиях, показал, что обработка семян в течение 15 и 20 мин не оказала стимулирующего влияния на их всхожесть и биометрические показатели проростков (табл. 3). Так, у семян, облученных в течение 15 мин наблюдали снижение всхожести на 10%, при 20-минутной обработке всхожесть семян по сравнению с контролем практически не изменилась. При облучении семян в течение 15 мин величина отклонения контролируемых параметров от контрольных значений была несколько ниже по сравнению с аналогичными данными, полученными при 20-минутном облучении семян.

Сравнение морфологических характеристик органов растений, полученных из обработанных семян, с контролем показало, что 15-минутное облучение семян перед посевом привело к увеличению

Table 4		Таблица 4		
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОСЕВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕМЯН СОИ СОРТА «СЛАВИЯ» DETERMINATION OF SOWING INDICATORS OF SOYBEAN SEEDS VARIETIES «SLAVIA»				
Условия выращивания Conditions cultivations	Параметры Characteristic	Время облучения семян (τ), мин Time of irradiation of seeds (τ), min		
		0 (Конт- роль) (Control)	15	20
Чашка Петри Petri dish	Энергия про- растания, % Germination energy, %	95	85	88
	Всхожесть, % Germination, %	95	92	95
Климатическая камера Climatic chamber	Всхожесть, % Germination, %	85	70	75

массы растений на 34,9%, массы корневой системы – на 22, длины корней – на 3,65, диаметра корзиночек – на 5,3 и их массы – на 25,3% (рис. 2, табл. 3). Биометрические показатели органов растений, выросших из семян, облученных в течение 20 мин, оказались значительно ниже контрольных значений. Следует отметить, что семена в корзинках всех убранных растений оказались недозрелыми.

Таким образом, предпочтительной для семян подсолнечника сорта «Добрыня» оказалась обработка низкочастотным электромагнитным полем в течение 15 мин.

Соя. «Славия» – высокопродуктивный раннеспелый сорт сои для возделывания на зерно с вегетационным периодом – 95-105 сут. Масса 1000 семян в среднем составляет 172 г. В семенах накапливается до 42% белка и до 23% масла.

Энергия прорастания семян сои определена в лабораторных условиях, их всхожесть в лабораторных условиях и в климатической камере представлена в таблице 4.

В результате обработки семян низкочастотным электромагнитным полем произошло снижение их посевных показателей как в лабораторных условиях, так и в климатической камере. Энергия прорастания семян при их облучении в течение 15 мин по отношению к контролю снизилась на 10%, всхожесть – на 3%. При 20-минутном облучении лабораторная энергия прорастания семян снизилась на 7%. Всхожесть семян в климатической камере снизилась на 15 и 10% соответственно.

Тем не менее положительная тенденция влияния облучения электромагнитным полем наблюдалась в процессе вегетации сои в фитотроне. Было заметно постепенное увеличение надземной массы рас-

Table 5		Таблица 5		
БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ОРГАНОВ РАСТЕНИЙ СОИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМАХ ОБЛУЧЕНИЯ BIOMETRIC INDICATORS OF MORPHOLOGICAL ORGANS OF SOYBEAN PLANTS UNDER DIFFERENT IRRADIATION REGIMES				
Контролируемые параметры Controlled parameter	Время облучения семян (τ), мин Time of irradiation of seeds (τ), min			
	0 (Конт-роль) (Control)	15	20	
Масса растения, г Weight of a plant, g	2,33	2,89	2,80	
Масса надземной части растения, г Mass of the aerial part plants, g	1,81	2,26	2,15	
Масса корня, г Mass of root, g	0,52	0,63	0,65	
Высота растения, см Height of a plant, sm	49,1	44,5	57,7	
Высота стебля, см Height of a stem, sm	33,2	29,7	39,3	
Длина корня, см Length of a root, sm	15,85	14,8	18,4	
Масса 1000 семян, г The mass of 1000 seeds', g	153,0	166,0	164,0	
Толщина стебля, мм Thickness of the stem, mm	2,06	2,06	2,17	

тений по вариантам опыта, развитие коневой системы, интенсивности цветения и плодообразования. Однако внешне растения, формирующиеся из семян, облученных в течение 15 мин, по высоте были несколько ниже контроля и растений с 20-минутным облучением.

В результате низкочастотного электромагнитного воздействия на семена сои изменились биометрические показатели растений, а также качественные показатели, полученные после завершения вегетации семян (табл. 5).

Увеличение массы растений и массы 100 семян наблюдали как при 15, так и при 20-минутном низкочастотном электромагнитном воздействии, причем при $\tau=15$ мин этот показатель был выше. Однако остальные показатели были значительно ниже по сравнению с показателями после облучения $\tau=20$ мин., после 20-минутного облучения корневая система растений была более развита, отличалась большей длиной и массой корней.

Выводы

1. Предпосевная обработка семян кукурузы низкочастотным электромагнитным излучением неоднозначно повлияла на их посевные качества и формирование выросших из них растений. Облучение семян в течение 15 мин привело к увеличению энергии прорастания по сравнению с контролем на 10%,



всхожести – на 8, массы проростка – на 6,4, стеблей и листьев – на 16, корневой системы – на 3,4, высоты стебля – на 30%. При 20-минутном облучении семян хотя и наблюдалось некоторое увеличение всхожести (на 10%), однако биометрические показатели проростков, полученных в лабораторных условиях, и растений, выращенных в условиях фитотрона, были ниже по сравнению с контролем.

2. Низкочастотное электромагнитное излучение не оказало стимулирующего воздействия на посевные качества сои, 20-минутное облучение семян привело к увеличению в конце вегетационного периода массы растений на 20%, массы корней – на 25, их длины – на 16%.

3. Обработка семян подсолнечника низкочастот-

ным электромагнитным полем не оказала стимулирующего действия на энергию прорастания и всхожесть семян, однако дала положительный результат в фазе уборки растений. Сравнение морфологических характеристик органов растений, полученных из облученных семян и выращенных в условиях фитотрона, с контрольными показателями показало, что 15-минутное облучение семян перед посевом привело к увеличению массы растений на 34,9%; массы корневой системы – на 22; длины корней – на 3,65; диаметра корзинок – на 5,3 и их массы – на 25,3%; биометрические показатели органов растений, выросших из семян, облученных в течение 20 мин, оказались значительно ниже контрольных значений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Зюлин А.Н. Разработка и внедрение высокоэффективных, ресурсо- и энергосберегающих технологий и технических средств послеуборочной обработки зерна и подготовки семян // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2009. N1. С. 2-9.
2. Yakushev V.P., Mikhailenko I.M., Dragavtsev V.A. Reserves of agrotechnologies and breeding for cereal yield increasing in the russian federation // *Agricultural Biology*. 2015. 50. N5. pp. 550-560. (In English)
3. Измайлов А.Ю., Евтюшенков Н.Е., Курбанов Р.К. Модернизация технологий транспортирования селекционного урожая // *Вестник сельскохозяйственной науки*. 2017. N2. С. 6-8.
4. Павлов С.А., Дадыко А.Н. Особенности сушки зерна при использовании топочных блоков на твердом топливе // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N4. С. 9-13.
5. Тертышная Ю.В., Левина Н.С., Елизарова О.В. Воздействие ультрафиолетового излучения на всхожесть и ростовые процессы семян пшеницы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N2. С. 31-36.
6. Тертышная Ю.В., Левина Н.С. Влияние спектрального состава света на развитие сельскохозяйственных культур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2016. N5. С. 24-29.
7. Кутырёв А.И., Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Ценч Ю.С. Магнитно-импульсная обработка семян земляники садовой // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N5. С. 9-15.
8. Rakosy-Tican L., Aurori C.M., Morariu V.V. Influence of near null magnetic field on in vitro growth of potato and wild Solanum species. // *Bioelectromagnetics*. 2005. 26.

pp. 548-557. (In English)

9. Sahebamei H., Abdolmaleki P., Ghanati F. Effects of magnetic field on the antioxidant enzyme activities of suspension-cultured tobacco cells // *Bioelectromagnetics*. 2007. 24. pp. 42-47. (In English)

10. Abdolmaleki P., Ghanati F., Sahebamei H., Sarvestani A.S. Peroxidase activity, lignification and promotion of cell death in tobacco cells exposed to static magnetic field // *Environmentalist*. 2007. 27. pp. 435-440. (In English)

11. Егорова И.В., Кондратенко Е.П., Соболева О.М., Вербицкая Н.В. Влияние обработок зерна пшеницы электромагнитным полем на содержание водорастворимых витаминов // *Рациональное питание, пищевые добавки и биостимуляторы*. 2014. N1. С. 22-23.

12. Hirota N., Nakagawa J., Koichi K. Effects of a magnetic field on the germination of Plants. *J. Appl. Phys.* 1999. 85. pp. 5717-5719. (In English)

13. Левина Н.С., Тертышная Ю.В., Бидей И.А., Елизарова О.В., Шибряева Л.С. Посевные качества семян мягкой яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) при разных режимах воздействия низкочастотным магнитным полем // *Сельскохозяйственная биология*. 2017. Т. 52. N3. С. 580-587.

14. Сыроватка В.И., Иванов Ю.А., Кононов В.П., Попов В.Д. Рекомендации по заготовке и использованию высоковлажного фуражного зерна. М.: Россельхозакадемия. 2006. 130 с.

15. Alicamanoglu S., Sen A. Stimulation of growth and some biochemical parameters by magnetic field in wheat (*Triticum aestivum* L.) tissue cultures. // *Afr. J. Biotechn.* 2011. 53. pp. 10957-10963. (In English)

REFERENCES

1. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Zyulin A.N. Razrabotka i vnedreniye vysokoeffektivnykh, resurso- i energo-

sberegayushchikh tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv posleuborochnoy obrabotki zerna i podgotovki semyan

[Development and introduction of highly effective, resource and energy-saving technologies and technical means of post-harvest grain processing and seed preparation] // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2009. N1: 2-9. (In Russian)

2. Yakushev V.P., Mikhailenko I.M., Dragavtsev V.A. Reserves of agrotechnologies and breeding for cereal yield increasing in the Russian Federation // *Agricultural Biology*. 2015. 50: N5: 550-560. (In English)

3. Izmaylov A. Yu., Evtushenko N. E., Kurbanov R. K. Modernizatsiya tekhnologiy transportirovaniya selektsionnogo uroznya [Modernization of technologies for transporting harvested selection crops] // *Vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 2017. N2: 6-8. (In Russian)

4. Pavlov S. A., Dadyco A. N. Osobennosti syshki zerna pri ispolzovanii topochnykh blokov na tverdom toplive [Features of grain drying when using combustion blocks on solid fuel] // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017. N4: 9-13. (In Russian)

5. Tertyshnaya Yu. V., Levina N. S., Elizarova O. V. Vozdeystvie ultrafioletovogo izlucheniya na vshozhest' i rostovye protsessy semyan pshenitsy [Influence of ultraviolet radiation on the germination and growth processes of wheat seeds] // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016. N5: 24-29. (In Russian)

6. Tertyshnaya Yu.V., Levina N.S. Vliyanie spektralnogo sostava sveta na razvitie selskokhozyaystvennykh kultur [Influence of spectral composition of light on the development of farm crops] // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016. N5: 24-29. (In Russian)

7. Kutyrov A.I., Khort D.O., Filippov R.A., Tsench Yr.S. Magnitno-impul'snaya obrabotka semyan zemlyaniki sadovoy [Magnetic-pulse treatment of strawberry seeds] // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017. N5: 9-15. (In Russian)

8. Rakosy-Tican L., Aurori C.M., Morariu V.V. Influence of near null magnetic field on in vitro growth of potato and wild Solanum

species. // *Bioelectromagnetics*. 2005. 26: 548-557. (In English)

9. Sahebamei H., Abdolmaleki P., Ghanati F. Effects of magnetic field on the antioxidant enzyme activities of suspension-cultured tobacco cells // *Bioelectromagnetics*. 2007. 24: 42-47. (In English)

10. Abdolmaleki P., Ghanati F., Sahebamei H., Sarvestani A.S. Peroxidase activity, lignification and promotion of cell death in tobacco cells exposed to static magnetic field // *Environmentalist*. 2007. 27: 435-440. (In English)

11. Egorova I. V., Kondratenko E. P., Soboleva O. M., Verbitskaya N. B. Vliyanie obrabotok zerna pshenitsy elektromagnitnym polem na sodержanie vodorastvorimyykh vitaminov [Influence of wheat grain processing with an electromagnetic field on the content of water-soluble vitamins] // *Razionalnoe pitaniye, pischevie dobavki i biostimulyatory*. 2014. N1: 22-23. (In Russian)

12. Hirota N., Nakagawa J., Koichi K. Effects of a magnetic field on the germination of Plants. *J. Appl. Phys.* 1999. 85: 5717-5719. (In English)

13. Levina N.S., Tertyshnaya Yu.V., Bidey I.A., Yelizarova O.V., Shibryayeva L.S. Posevnyye kachestva semyan myagkoy yarovoy pshenitsy (*Triticum aestivum* L.) pri raznykh rezhimakh vozdeystviya nizkochastotnym magnitnym polem [Sowing qualities of seeds of soft spring wheat (*Triticum aestivum* L.) under different exposure modes to a low-frequency magnetic field] // *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 2017. 52: N3: 580-587. (In Russian)

14. Syrovatka V.I., Ivanov Yu.A., Kononov V.P., Popov V.D. Rekomendatsii po zagotovke i ispol'zovaniyu vysokovlazhnogo furazhnogo zerna [Recommendations on harvesting and use of high-moisture feed grain]. Moscow: Rossel'khozakademiya, 2006. 130. (In Russian)

15. Alicamanoglu S., Sen A. Stimulation of growth and some biochemical parameters by magnetic field in wheat (*Triticum aestivum* L.) tissue cultures. // *Afr. J. Biotechn.* 2011. 53: 10957-10963. (In English)

Статья поступила в редакцию 27.04.2018

**The paper was submitted
to the Editorial Office on 27.04.2018**

Статья принята к публикации 07.06.2018

**The paper was accepted
for publication on 07.06.2018**

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Исследования сушки зерна в автоматизированном зерносушильном агрегате

Сергей Анатольевич Павлов¹,
кандидат технических наук, ведущий научный
сотрудник, e-mail: sapavlov777@mail.ru;

Татьяна Федоровна Фролова²,
ведущий инженер

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

²ООО «Особое конструкторское бюро по теплогенераторам», г. Брянск, Российская Федерация

Реферат. Шахтные и колонковые зерносушильные агрегаты – достаточно сложный объект управления в поточной линии. Процесс сушки зерна определяется большим числом параметров, количественно и качественно характеризующих работу агрегата. К ним относятся критерии максимума производительности и минимума отклонений влажности высушенного зерна от кондиционного значения. Эти критерии, как показывают исследования, связаны между собой: повышение производительности сушилки приводит к увеличению влажности выходящего из нее зерна, и наоборот, стремление уменьшить влажность зерна вызывает необходимость снижения производительности сушилки. (*Цель исследования*) Разработать уравнения передаточных функций управления расходом зерна в зависимости от возмущений исходной влажности и максимальной температуры зерна, а также провести экспериментальную их проверку. (*Материалы и методы*) Составили упрощенные математические модели компенсации возмущений влажности поступающего на сушку зерна и температуры его нагрева в камере сушки путем изменения производительности сушилки на основе теоретических и экспериментальных исследований. (*Результаты и обсуждения*) Получили выражения для управления производительностью процесса при изменении влажности и температуры через параметры производительности сушилки как функции стока влаги зерна и теплоты, потраченной на нагрев зерна до допустимой температуры. Осуществили хозяйственную проверку разработанных передаточных функций управления при испытаниях зерносушильного агрегата СЗТ-16, управляемого логическим контроллером S7-1200 Siemens и работающей в автоматическом режиме. Провели испытания в КФХ «Байбашев» Карачаевского района Брянской области на сушке зерна пшеницы продовольственного назначения. (*Выводы*) Подтвердили, что производительность сушилки определяется не только паспортной производительностью, но и отклонением исходного влагосодержания зерна, а также таким параметром, как отношение частей теплоты, затраченных на испарение и нагрев. При неизменной исходной влажности производительность сушилки определяется ее паспортной производительностью, максимальной заданной разностью температур зерна, а также отношением долей теплоты на нагрев и испарение.

Ключевые слова: зерно, сушка, автоматизация, алгоритмы управления.

■ **Для цитирования:** Павлов С.А., Фролова Т.Ф. Исследования сушки зерна в автоматизированном зерносушильном агрегате // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N4. С. 29-34. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-4-29-34

Study of Grain Drying in the Automated Grain Drying Unit

Sergey A. Pavlov¹,
Ph.D.(Eng), key research engineer,
e-mail: sapavlov777@mail.ru;

Tatiana F. Frolova²,
key research engineer

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

²LLC “Special Design Bureau for Heat Generators”, Bryansk, Russian Federation

Abstract. Mine and column grain dryers are a fairly complex object of control in the production line. The process of grain drying is characterized by a large number of parameters, quantitatively and qualitatively characterizing the dryer operation. First of all, this includes the criteria of maximum performance and minimum deviations of the moisture content of the dried grain from the standard values. These criteria, as studies show, are interconnected with each other: an increase in the performance Π of the dryer leads to an increase in the moisture content of the grain coming out of it, and, conversely, an attempt to reduce the moisture content of grain causes the need to reduce the performance Π . (*Research purpose*) The research purpose is to develop

the expression for the transfer functions of the of grain flow control depending on perturbations of the initial moisture content and the maximum grain temperature, as well as to conduct experimental studies. (*Materials and methods*) The authors have developed simplified mathematical models of moisture perturbation compensation of grain coming in for drying and its heating temperature in a drying chamber by changing the dryer performance on the basis of theoretical-and-experimental studies. (*Results and discussion*). The authors have obtained expressions to control the process performance when the current humidity and temperature change through the dryer performance parameters as a function of grain moisture flow and heat used to grain heating up to an acceptable temperature. Farm tests of developed transition management functions have been implemented for dryer SZT-16 controlled by PLC S7-1200 Siemens and operating in an automatic mode. Tests have been conducted on the “Babachev” farm, Karachev district of the Bryansk region in the process of drying food wheat grain. (*Conclusion*) It has been confirmed that the dryer performance is determined not only by the rated capacity but also by the deviation of the current moisture content of grain from the specified values and by the ratio of the amount of heat used for evaporating and heating. The dryer performance at constant initial humidity is determined by its rated performance, the maximum specified difference of grain temperatures, as well as the ratio of the amounts of heat used for evaporating and heating.

Keywords: grain, drying, automation, control algorithms.

■ **For citation:** Pavlov S.A., Frolova T. F. Study of grain drying in the automated grain drying unit. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny iologii*. 2018. 12(4): 0-0. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-4-0-0. (In Russian).

Автоматизация контроля и управления процессами сушки зерна открывает широкие возможности для повышения ее эффективности, снижения затрат труда и улучшения качества продукта.

Шахтные и колонковые зерносушилки – достаточно сложный объект управления в поточной линии. Процесс сушки зерна характеризуется большим числом параметров, количественно и качественно отражающих работу сушилки. Среди этих параметров – влажность зерна на входе и выходе из сушилки, ее производительность, температура нагрева зерна и агента сушки, подаваемого и отработанного в сушилке [1-7].

Из этой совокупности частных критериев к сушилке в первую очередь относятся критерии максимума производительности и минимума отклонений влажности высушенного зерна от кондиционного значения. Эти критерии, как показывают исследования, связаны между собой: повышение производительности (Π) сушилки приводит к увеличению влажности выходящего из нее зерна, и наоборот, стремление уменьшить влажность зерна W вызывает необходимость снижения (Π). Поскольку на зерно- и семяобрабатывающих предприятиях в соответствии с требованиями стандартов влажность полученных зерна и семян не должна превышать кондиционного значения, то критерий $\min W$ превращается в ограничение вида $W \leq W_{\text{кон}}$. Кроме того, процесс сушки семенного зерна должен отвечать требованию недопустимости снижения семенных качеств готовой продукции. Это требование в применении к зерносушилкам заключается в том, чтобы не допустить перегрева зерна, то есть температура θ зерна не должна превышать допустимого значения $\theta_{\text{доп}}$ [6, 11].

Таким образом, функцию оптимального управ-

ления часто выражают в виде:

$$\max \Pi = f(\theta, W, t), \quad (1)$$

где Π – производительность, т/ч; θ – температура зерна, °С; W – влажность зерна, %; t – температура агента сушки, °С.

При ограничениях:

$$W \leq W_{\text{кон}} \text{ и } \theta \leq \theta_{\text{доп}}. \quad (2)$$

Для описания процесса сушки в шахтных и колонковых сушилках разработан ряд математических моделей как на основе дифференциальных уравнений, так и найденных эмпирически, но в последнем случае для каждого конкретного объекта нужно экспериментально определять целый ряд параметров, что затруднительно [8, 9].

Цель исследования – разработать уравнения передаточных функций управления расходом зерна в зависимости от возмущений исходной влажности и максимальной температуры зерна, а также провести их экспериментальную проверку.

Материалы и методы. Производительность сушилки по массе испаренной влаги можно записать в виде:

$$\Pi = \frac{G(U_1 - U_2)}{\tau \eta}, \quad (3)$$

где Π – паспортная производительность сушилки, т/ч; G – масса зерна в сушилке, кг; U_1, U_2 – влагосодержание исходного и кондиционного зерна, кг вл./кг сух. мат.; τ – длительность сушки, ч; η – доля теплоты, пошедшей на испарение влаги.

Изменение производительности сушилки при отклонениях исходной влажности зерна:

$$\Pi_m = \frac{G(U_0 - U_1)}{\tau \eta},$$



где U_0 – текущее влагосодержание зерна, кг вл./кг сух. мат.; окончательный вариант записи текущей производительности:

$$\Pi_m = \Pi \frac{(U_0 - U_1)\eta}{(U_1 - U_2)\eta_1}, \quad (4)$$

где η_1 – доля теплоты, пошедшая на испарение влаги при отклонениях влажности.

Доля теплоты, пошедшей на испарение влаги, равна:

$$\eta = \frac{\Delta U r}{\Delta U r + \Delta \theta c},$$

где ΔU – разность влагосодержаний, кг вл./кг сух. мат.; $\Delta \theta$ – разность температур при сушке зерна, °C; c – теплоемкость зерна, кДж/кг исп. вл.; r – удельная теплота испарения влаги, кДж/кг.

При существенном превышении текущей влажности U_0 над кондиционной (более 1-1,5%) сушилку переводят с потока на циркуляцию, при этом расход зерна прекращается, а ожидаемое время циркуляции можно определить по выражению:

$$\tau_{ц} = \tau \frac{U_0 - U_2}{U_1 - U_2}, \quad (5)$$

где τ – длительность сушки, ч.

Величину τ рассчитывают по известным U_1 , U_2 и температурному режиму сушки для оценки времени перевода работы сушилки с циркуляции на поток [9, 10].

К основным параметрам, характеризующим тепловой режим зерносушилки, относятся температура подаваемого в сушильную камеру теплоносителя и температура нагрева зерна. С одной стороны, процесс сушки нужно вести таким образом, чтобы не превысить допустимую температуру нагрева зерна, а с другой – сушка происходит наиболее эффективно при предельных температурах его нагрева. Стремление к интенсификации процесса сушки привело к разработке различных систем автоматического регулирования (стабилизации) температуры нагрева зерна, в которых в качестве управляющих воздействий использовали изменение подачи топлива и экспозиции сушки (путем варьирования производительностью). Эти системы позволяют поддерживать заданную влажность зерна, но не предотвращают его пересушивания или избыточности влаги на выходе зерна.

Рассмотрим частную задачу изменения температуры зерна при постоянной исходной влажности. Производительность сушилки по теплоте, затраченной на сушку, можно записать следующим образом:

$$\Pi = \frac{G c (\theta_k - \theta_n) \eta_1}{\tau}, \quad (6)$$

где θ_k , θ_n – конечная и начальная температура зерна, °C.

При возмущениях температуры теплопроизводительность меняется согласно выражению:

$$\Pi_0 = \frac{G c (\theta'_k - \theta_k) \eta_2}{\tau}, \quad (7)$$

где θ'_k – текущая температура зерна, °C.

Текущая производительность сушилки составит:

$$\Pi_0 = \Pi \frac{(\theta'_k - \theta_k) \eta_2}{(\theta_k - \theta_n) \eta_1}. \quad (8)$$

При расчете θ'_k необходимо учесть расположение термодатчиков и инерционность нагрева зерна.

Полагая, что температура возрастает линейно по длине шахты, и максимальных значений она достигает на выходе шахты, целесообразно контролировать температуру зерна в верхних областях колонки, для чего, например, разместить термодатчик на входе последней сушильной секции и определить θ_{k0} и θ'_{k0} , снизив их величину на:

$$\Delta \theta = \frac{\theta_k - \theta_n (n-1)}{n};$$

$$\theta_{k0} = \theta_k - \Delta \theta \text{ и } \theta'_{k0} = \theta'_k - \Delta \theta, \quad (9)$$

где n – число сушильных секций.

Хозяйственная проверка разработанных передаточных функций управления была проведена при испытаниях зерносушилки СЗТ-16, управляемой логическим контроллером *S7-1200 Siemens* и работающей в автоматическом режиме. Испытания проводили в КФХ «Байбашев» Карачаевского района Брянской области на сушке зерна пшеницы продовольственного назначения.

Контроллер был запрограммирован для конкретных 13 культур, в том числе рапса, сои, кукурузы. По эмпирическим зависимостям влажность зерна на входе и выходе измеряли влагомером Микроадап-113. Температуру зерна определяли термометрами сопротивления. Управление производительностью зерносушилки проводили изменением частоты вращения разгрузочного устройства роторного типа, для чего на его приводе установлен частотный преобразователь.

Технологическая схема сушилки представлена на рисунке 1.

Устройство работает следующим образом. Влажное зерно первым потоком нории подают через клапан, который настроен на «поток» или на циркуляцию, во влагомер влажного зерна (на входе в сушилку), затем в сушилку, высушенное и охлажденное зерно разгружается роторами, привод которых настроен на заданный расход и через разгрузочное устройство вторым потоком нории поступает во влагомер на выходе и выводится из сушилки. Агент сушки готовят в топке и через диффузор подают в сушилку.

На датчике устанавливают наименование куль-

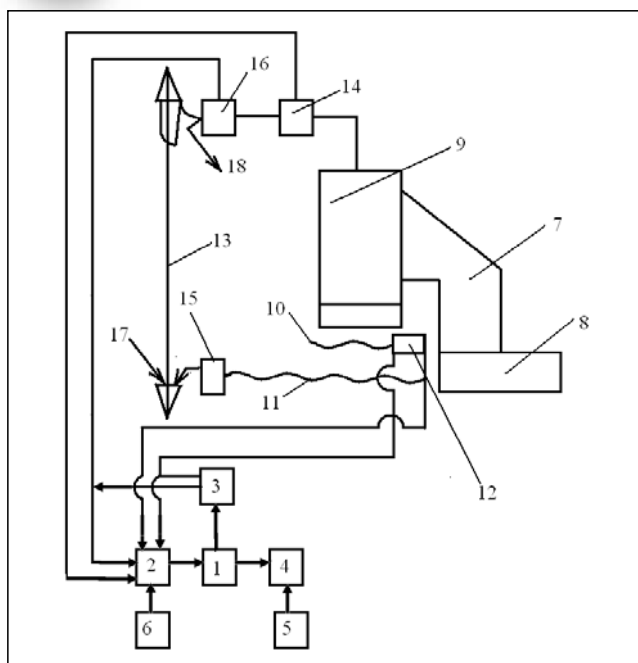


Рис. 1. Технологическая схема сушилки: 1 – микропроцессор; 2 – измеритель; 3 – блок коррекции; 4 – датчик; 5 – блок выбора зерновой культуры; 6 – блок коррекции паузы; 7 – диффузор сушилки; 8 – топка; 9 – сушилка; 10 – разгрузочные роторы; 11 – разгрузочное устройство; 12 – привод роторов; 13 – нория; 14 – влагомер на входе в сушилку; 15 – влагомер на выходе из сушилки; 16 – клапан перевода с циркуляции на поток. На схеме приведены направления движения влажного 17 и высушенного 18 зерна

Fig. 1. Technological scheme of the dryer: 1 – contains microprocessor; 2 – meter; 3 – correction unit; 4 – sensor; 5 – grain crop selection unit; 6 – pause correction unit; 7 – dryer diffuser; 8 – furnace; 9 – dryer; 10 – discharge rotors; 11 – discharge device; 12 – rotor drive; 13 – grain elevator; 14 – moisture meter at the dryer inlet to the; 15 – moisture meter at the dryer outlet; 16 – transfer valve from the circulation to flow mode. Also shown in the diagram are directions of movement of wet grain 17 and dried grain 18

туры, исходную и конечную влажность зерна, устройство входит в режим измерения влажности установленной культуры от влагомера 15, для компенсации внешних воздействующих факторов предусмотрен блок коррекции 3, в блоке 6 автоматически устанавливают расход зерна согласно выражению $V_i = K(W_i - W_{\min})$, где V_i – текущее значение аналогового сигнала, В; K – коэффициент перевода показателя влажности в аналоговый сигнал; W_i – текущее значение влажности измеряемой культуры, %; $W_{\min}$ – минимальное значение влажности, %. Происходит изменение расхода зерна в зависимости от его влажности на выходе из сушилки.

При превышении влажности зерна относительно кондиционной происходит снижение расхода зерна от частоты вращения роторов, а затем, если зерно не достигает кондиционной влажности, устрой-

ство останавливается. По окончании паузы продолжительностью не менее 3 аналоговых сигналов от влагомера 15, необходимой для компенсации текущей неравномерности распределения влажности по зерну, прекращается разгрузка зерна, а устройство входит в режим циркуляции. По достижении кондиционной влажности циркуляция прекращается, а выгрузка зерна возобновляется.

Проведено два опыта с автоматической коррекцией частоты вращения роторов без циркуляции зерна во время паузы (рис. 2) и с периодической

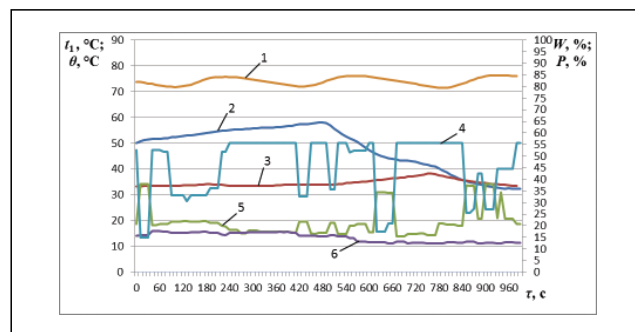


Рис. 2. Зависимость температуры (t , θ), частоты вращения роторов (P) и влажности зерна W от времени τ для зерносушилки СЗТ-16 с контроллером: 1 – температуры агента сушки; 2 – температуры зерна после сушки; 3 – перед сушкой; 4 – частоты вращения разгрузочных роторов; 5 – исходной влажности зерна; 6 – конечной влажности зерна
Fig. 2. Dependence of temperature (t , θ), rotor speed (P) and grain moisture W from time τ for dryer SZT-16 with controller 1 – drying agent temperature; 2 – grain temperature after drying; 3 – before drying; 4 – rotation speed of the unloading rotor; 5 – initial grain moisture; 6 – final grain moisture

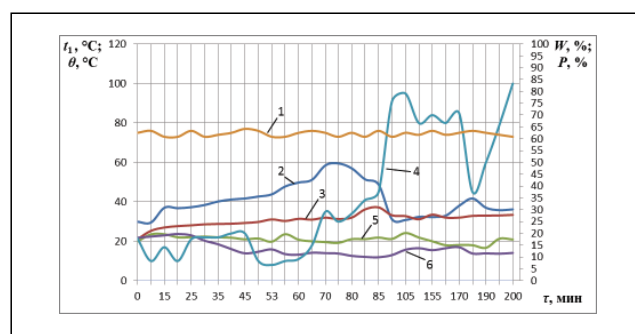


Рис. 3. Зависимость температуры (t , θ), вращения роторов (P) и влажности зерна W от времени τ для автоматизированной зерносушилки СЗТ-16: 1 – температуры агента сушки; 2 – температуры зерна после сушки; 3 – перед сушкой; 4 – частоты вращения разгрузочных роторов; 5 – исходной влажности зерна; 6 – конечной влажности зерна
Fig. 3. Dependence of temperature (t , θ), rotor speed (P) and grain moisture W from time τ for the automated dryer SZT-16: 1 – drying agent temperature; 2 – grain temperature after drying; 3 – before drying; 4 – rotation speed of the unloading rotor; 5 – initial grain moisture; 6 – final grain moisture

Table ОСНОВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ СУШИЛКИ СЗТ-16 НА ПШЕНИЦЕ THE MAIN PERFORMANCE INDICATORS OF THE DRYER SZT-16 (WHEAT PROCESSING)			Таблица
Показатели работы Performance indicators	Значения показателей Indicators values		
	поточный режим, фон 1 Flow-line mode, background 1	с периодической циркуляцией, фон 2 With periodic circulation, background 2	
Производительность, т/ч Performance, tons/h	14,2	14,7	
Влажность зерна, %: Grain moisture, %			
– до сушки – before drying	19,7	21,4	
– после сушки – after drying	13,4	13,8	
Температура, °C: Temperature, °C:			
– теплоносителя – coolant	74	74,6	
– зерна на входе в сушилку – grain at the dryer inlet	25	20	
– зерна в зоне максимального нагрева – grain in the maximum heating zone	48	48	
– охлажденного зерна – cooled grain	34	32	
– наружного воздуха – external air	25	19	
Расход топлива (природный газ), м³/ч Fuel consumption (natural gas), m³/h	78	80,5	
Расход теплоносителя, м³/ч Coolant consumption, m³/h	35000	35000	
Удельный расход тепла, кДж/кг исп. вл. Relative heat consumption, kJ/kg evap. moist.	2560	2472	
Температура дымовых газов, °C Temperature of flue gases, °C	207	-	
Теплопроизводительность, МВт Heat productivity, MW	0,6	0,622	

циркуляцией (рис. 3).

Частота вращения роторов определена из расчета $\Pi = 32$ т/ч при $P = 100\%$. Основные показатели сушилки приведены в таблице.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. В первом опыте зерно высушивали с коррекцией его расхода согласно выражению $V_i = K(W_i - W_{\min})$, заложенному в программу управления сушилкой. При отклонении влажности от кондиционной циркуляция зерна не использовалась [8-11]. Во втором опыте при отклонении конечной влажности от кондиционной использовали циркуляцию, что обусловило более высокую производительность сушилки.

Полученные экспериментальные данные сравнивали с расчетными по уравнениям (4) и (8), разработанным для упрощенной системы управления сушилкой по влажности и температуре зерна. Установлено, что результаты расчета производительности в зависимости от изменения исходной влажности или максимальной температуры зерна θ со-

ответствуют экспериментальным данным (с погрешностью не более 15-20%).

Разработаны упрощенные аналитические выражения для автоматического управления производительностью сушилки по исходной и максимальной влажности зерна, не требующие задания дополнительных параметров. Сравнивается сигнал, поступающий от влагомеров на входе и выходе сушилки с величинами исходной и конечной влажности зерна и величиной доли теплоты, пошедшей на испарение влаги, заложенными в программу управления. Возможна стабилизация температурного режима сушки путем изменения производительности сушилки в зависимости от изменения температуры нагрева зерна при $W = \text{const}$.

Периодическая циркуляция зерна используется в случае превышения текущей влажности над кондиционной и способствует повышению производительности.

Выводы. Эффективность сушилки определяет-

ся паспортной производительностью, отклонением текущего влагосодержания зерна от заданного и отношением долей теплоты, пошедших на испарение и нагрев.

При неизменной исходной влажности эффектив-

ность сушиллки определяется ее паспортной производительностью, максимальной заданной разностью температур зерна, а также отношением долей теплоты на нагрев и испарение.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Афонькина В.А., Захахатов В.И., Майоров В.И., Попов В.М. К вопросу управления процессом комбинированной сушки зерна // *Вестник Мордовского университета*. Т. 26. 2016. С. 32-39.
2. Штейнберг Ш.Е., Хвиевицкий Л.О., Ястребенецкий М.А. Промышленные автоматические регуляторы. М.: Энергия. 1973. 568 с.
3. Industrial programmable controller systems IPC-300 (США). 1985.
4. Гуляев Г.А. Автоматизация процессов послеуборочной обработки и хранения зерна. М.: Агропромиздат. 1990. С. 68-71.
5. Анискин В.И., Рыбарук В.А. Теория и технология сушки и временной консервации зерна активным вентилированием. М.: Колос. 1972. 200 с.
6. Секанов Ю.П., Елизаров В.П., Левина Н.С. Регули-

- рование влажности зерна по косвенному параметру // *Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства*. 1972. N5. С. 24-26.
7. Гуляев Г.А. Оптимизация управления шахтной зерносушилкой // *НТБ «ВИМ»*. 1986. Вып. 63. С. 21-25.
8. Sagar V.R., Kumar P. Suresh. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review // *J Food Sci Techol*. 2010. 47(1). pp. 15-26.
9. Воронов А.А., Кондратьев Г.А., Чистяков Ю.В. Теоретические основы построения автоматизированных систем управления. М.: Наука. 1977. 231 с.
10. Краусп В.Р. Автоматизация послеуборочной обработки зерна. М.: Машгиз. 1975. 277 с.
11. Сажин Б.С. Основы техники сушки. М.: Химия. 1984. 320 с.

REFERENCES

1. Afon'kina V.A., Zakhakhatov V.I., Mayorov V.I., Popov V.M. K voprosu upravleniya kombinirovannoy sushki zerna [On the issue of controlling combined grain drying] // *Vestnik Mordovskogo universiteta*. 2016. Vol. 26: 32-39. (In Russian).
2. Steinberg Sh.E., Khvilevetskiy L.O., Yastrebenetskiy M.A. Promyshlennyye avtomaticheskiye regulatory [Industrial automatic controllers]. Moscow: Energiya, 1973. 568. (In Russian).
3. Industrial programmable controller systems IPC- 300 (USA). 1985. (In English).
4. Gulyayev G.A. Avtomatizatsii protsessov posleuborochnoy obrabotki i khraneniya zerna. [Automation of post-harvest processing and storage of grain] Moscow: VO "Agropromizdat", 1990. 68-71. (In Russian).
5. Aniskin V.I., Rybaruk V.A. Teoriya i tekhnologiya sushki i vremennoy konservatsii zerna aktivnym ventilirovaniyem [Theory and technology of drying and temporary preservation of grain by active ventilation]. Moscow: Kolos. 1972. 200. (In Russian).

6. Sekanov Yu.P., Elizarov V.P., Levina N.S. Regulirovaniye vlazhnosti zerna po kosvennomu parametru [Regulation of grain moisture by an indirect parameter] // *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sotsialisticheskogo sel'skogo khozyaystva*. 1972; 5: 24-26. (In Russian).
7. Gulyayev G.A. Optimizatsiya upravleniya shakhtnoy zernosushilkoj [Optimization of the management of mining dryer] // *NTB «VIM»*. 1986. Iss. 63: 21-25. (In Russian).
8. Sagar V.R., Kumar P. Suresh. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review // *J Food Sci Techol*. 2010; 47(1). 15-26. (In English).
9. Voronov A.A., Kondrat'yev G.A., Chistyakov Yu.V. Teoreticheskiye osnovy postroyeniya avtomatizirovannykh sistem upravleniya [Theoretical bases of designing automated control systems]. Moscow: Nauka. 1977; 231. (In Russian).
10. Krausp V.R. Avtomatizatsiya posleuborochnoy obrabotki zerna [Post-harvest grain processing automation]. Moscow: Mashgiz, 1975; 277. (In Russian).
11. Sazhin B.S. Osnovy tekhniki sushki [Basics of drying techniques]. Moscow: Khimiya. 1984; 79. (In Russian).

Статья поступила в редакцию 13.03.2018
The paper was submitted
to the Editorial Office on 13.03.2018

Статья принята к публикации 25.07.2018
The paper was accepted
for publication on 25.07.2018

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Анализ экономических показателей линий для переработки масличного льна

Эдуард Валерьевич Новиков^{1,2},
кандидат технических наук, заведующий
лабораторией, доцент кафедры,
e-mail: edik1@kmtn.ru;

Наталья Владимировна Басова¹,
научный сотрудник;
Александр Владиславович Безбабченко¹,
старший научный сотрудник

¹Всероссийский научно-исследовательский институт механизации льноводства, г. Тверь, Российская Федерация;

²Костромской государственный университет, г. Кострома, Российская Федерация

Реферат. Лен масличный произрастает во многих странах мира. Его использование для получения волокна может значительно повысить доходность льносеющего хозяйства. На современном этапе с учетом реальных возможностей отечественной экономики для эффективного развития льноводства необходимо внедрять прогрессивные технологии. В настоящее время у переработчиков есть выбор линии технологического оборудования переработки масличного льна в волокно для получения дополнительной прибыли. *(Цель исследования)* Определить технологически и экономически эффективную линию для переработки масличного льна. *(Материалы и методы)* Основные материалы для расчета – показатели производственной мощности, среднегодовой стоимости основных производственных фондов, объема денежных средств, направленных на оплату труда. Ведущий метод исследования – балансовый, позволяющий составить план, учитывающий источники ресурсов и потребность в них. *(Результаты и обсуждения)* Рассмотрели малозатратные линии для переработки масличного льна в короткое волокно на основе дезинтеграторов различных марок (отечественного и иностранного производства). Сравнили характеристики волокна, получаемого на линиях. Проанализировали технико-экономические показатели четырех технологических линий при разных условиях эксплуатации, сроки окупаемости капитальных затрат при различных площадях посева масличного льна. *(Выводы)* Установили, что наиболее эффективна переработка масличного льна с площади не менее 1000 гектаров, при пропускной способности по сырью не менее 1000 килограмм в час и при расстоянии перевозки рулонов к месту переработки – 50 километров. Получили технологические и экономические данные, которые можно использовать при организации переработки масличного льна в ликвидное волокно.

Ключевые слова: масличный лен, волокно, посевные площади, рентабельность, технологические линии, окупаемость, себестоимость, эффективность.

■ Для цитирования: Новиков Э.В., Басова Н.В., Безбабченко А.В. Анализ экономических показателей линий для переработки масличного льна // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №4. С. 35-40. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-4-35-40

Analysis of Economic Indicators for Oil Flax Processing

Eduard V. Novikov^{1,2},
Ph.D.(Econ.), head of the laboratory processing,
associate professor,
e-mail: edik1@kmtn.ru;

Natalia V. Basova¹,
research associate;
Aleksandr V. Bezbabchenko¹,
senior research associate

¹Federal State Scientific Institution «All-Russian Scientific Research Institute of Flax Cultivation Mechanization», Tver, Russian Federation;

²Federal State Institution of Higher Education «Kostroma State University», Kostroma, Russian Federation

Abstract. Oil flax grows in many countries of the world. Fibre production on its basis can significantly increase the profitability of flax-growing farms. At the present stage, taking into account the real possibilities of the national economy, for its effective development it is necessary to introduce advanced technologies. Currently, processing enterprises may choose among different technological equipment lines to process oil flax into fibre and thus get additional profit. *(Research*

purpose) The determination of a technologically and economical-ly effective line for oil flax processing. (*Materials and methods*) The main materials for calculation were represent-ed by the indicators of production capacity, the average annual value of fixed as-sets, the amount of money spent on salaries and wages, etc. The main research method is the balance method that allows making a plan in the form of a balance sheet that takes into account the sources of inputs and the requirements for these inputs. (*Results and discussions*) The authors have considered low-cost lines for oil flax processing into short fibre on the basis of disintegrators of various brands (from domestic and foreign producers), offered characteristics of the fibre obtained in the lines, and analyzed technical and economic indicators of various technologi-cal lines under different conditions, and the payback period of capital expenditures for different oil flax acreages. (*Conclusions*) The authors have determined that the most effective is the pro-cessing of oil flax from an area of at least 1000 hectares, with a throughput capaci-ty of raw materials of at least 1000 kg/h and a distance of the transportation of straw rolls to a processing site of 50 km. They have also obtained technological and economic data that can be used in the organization of oil flax processing into marketable fibre.

Keywords: oil flax, fibre, acreage, profitability, production lines, payback, production cost, efficiency.

■ For citation: Novikov E.V., Basova N.V., Bazbabchenko A.V. Analysis of economic indicators for oil flax processing // *Sel'sk Khozyajstvennye mashiny i tekhnologii*. 2018. 12(4): 35-40. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-4-35-40. (In Russian)

Лен масличный производят как в южных, так и в северных регионах во многих странах мира [1]. Из него получают одновременно волокно и семена [2]. Использование волокна из соломы или тресты масличного льна позволяет значительно повысить доходность льносеющего хозяйства, увеличить занятость на селе, расширить спектр производственных предприятий по переработке волокнистого сырья [3, 4].

В 2017 г. площадь посевов льна масличного в РФ составила 565,2 тыс. га, что при урожайности стеблевой массы 1000 кг/га дает валовой сбор 565,2 тыс. т льносоломы (стеблевой массы), которую можно переработать в волокно. Дополнительная прибыль за реализацию волокна из стеблей составит 2 тыс. руб./га [5]. Заинтересованы в переработке соломы этого льна в большей степени не традиционные льнозаводы, а малые частные предприятия в сотрудничестве с научно-исследовательскими центрами. Например, Всероссийский научно-исследовательский институт механизации льноводства и Костромской государственный университет занимаются разработкой ресурсосберегающих технологий переработки соломы льна масличного в волокно широкого промышленного применения.

В число наиболее известных зарубежных фирм и организаций, занимающихся разработкой и продажей перерабатывающего оборудования для льна масличного, входят компании «Charle & Co» (Бельгия), «Laroche» (Франция), «DiloTema» (Германия) и римский исследовательский центр IPZS (Италия). Эти фирмы предлагают оборудование и технологии для переработки стеблей льна в бумагу, а Германия – для производства геотекстиля, нетканых и композитных материалов, но это уже глубокая переработка [6]. На начальном этапе проводят первичную переработку, цель которой – выделение

короткого волокна из стеблевой массы масличного льна. Как правило, зарубежные линии для первичной переработки – металлоэнергоёмкие и дорогостоящие, и неизвестно, будут ли они рентабельны в условиях РФ.

В России на сегодняшний день серьезной проблемой остается значительный износ материально-технической базы [7]. На современном этапе с учетом реальных возможностей отечественной экономики для эффективного развития необходимо внедрять прогрессивные технологии [8]. Ранее в работах ВНИИ механизации льноводства было представлено описание оборудования по первичной переработке масличного льна на базе дезинтегратора [9, 10]. На сегодняшний день одна из линий на основе дезинтегратора представляет собой наиболее простой, малозатратный и недорогостоящий вариант. Она состоит из резчика рулонов, двух дезинтеграторов (Д) и двух трясильных машин (Т), что можно записать как резчик рулонов + Д + Д + Т + Т [10]. Это оборудование производят Россия и Беларусь. Например, в настоящее время выпускают дезинтеграторы нескольких марок: ДЛВ-2М и ОКВ-1 (Россия), МДТ-1000 (Беларусь) и трясильные машины ТН-112 (Россия), ТГВ-14 (Беларусь). Очевидно, что у переработчиков есть выбор, на какой линии технологического оборудования переработать солому в волокно или тресту масличного льна и тем самым получить дополнительную прибыль.

Цель исследования – определение технологически и экономически эффективной линии для переработки масличного льна.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ – основными материалами для расчета послужили показатели производственной мощности, среднегодовой стоимости основных производственных фондов, норм выхода и качества волокна из тресты, показатели среднего-

довой численности промышленно-производственного персонала предприятия (численности работающих), объема денежных средств, направленных на оплату труда. Ведущим методом исследования служит балансовый, позволяющий составить план, учитывающий источники ресурсов и потребность в них. Для расчета конкретных величин технико-экономических показателей использовали методы прямого счета, расчета по факторам, математического моделирования.

Результаты и обсуждения. На некоторых предприятиях можно встретить следующие технологические линии:

- линия 1 (производство Россия): рулоноразмотчик РЛР-1500 + дезинтегратор ДЛВ-2М + разгрузитель волокна ВУЛ + трясильная машина ТН-112 (2 шт.) + волоконотделительная машина ВОМ-2;

- линия 2 (производство Беларусь): рулоноразмотчик МР-1400 + машина дробления тресты МДТ-1000 (дезинтегратор) + разгрузитель волокна КНИИЛП + трясильная машина ТГВ-14 (2 шт.) + ВОМ-2;

- линия 3 сборная (производство Беларусь+Россия): резчик рулонов KUNN (или аналогичный) + МДТ-1000 (2 шт.) + разгрузитель КНИИЛП + ТГВ-14 (2 шт.) + ВОМ-2;

- линия 4 сборная (производство Россия+Беларусь+Бельгия): МР-1400 + мяльная машина М-110ЛП + МДТ-1000 + разгрузитель волокна КНИИЛП + ТГВ-14 + трясильная машина («Charle & Co», Бельгия) + трепальный барабан («Charle & Co», Бельгия) + трясильная машина (2 шт. «Charle & Co», Бельгия) + ВОМ-2.

Проведенные ранее производственные эксперименты показали следующее качество волокна на линиях (табл. 1). Так как цена Белорусского дезинтегратора МДТ-1000 значительно ниже российского аналога ДЛВ-2М, то можно скомпоновать сравнительно недорогую линию из машин двух стран, например, линию 3. Интерес представляет также сборная линия 4, которая может производить волокно более высокого качества.

Провели сравнительный анализ технико-экономических показателей (далее ТЭП) льнозавода, перерабатывающего солому (тресту) масличного льна в короткое волокно на рассмотренных четырех линиях.

Расчет ТЭП указанных линий на масличном льне проводили для посевных площадей 700, 1000 и 1500 га, при перевозке рулонов к месту переработки на расстояние 50 и 100 км, пропускной способности оборудования 500 и 1000 кг/ч. В расчет включена стоимость зданий, сооружений, транспортных средств и прочих основных фондов. Другие исходные данные для расчета представлены в таблице 2.

Результаты расчета ТЭП указанных линий пред-

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЛОКНА ИЗ ТРЕСТЫ МАСЛИЧНОГО ЛЬНА, ПОЛУЧЕННОГО НА РАЗЛИЧНЫХ ЛИНИЯХ ДЛЯ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ*				
CHARACTERISTICS OF THE FIBRE OF RETTED FLAX STALKS OBTAINED FROM DIFFERENT LINES FOR PRIMARY PROCESSING*				
Наименование Indicator	Линия / Line			
	1	2	3	4
Массовая доля костры, % Mass share of chaff and weed, %	35-45	35-45	25-30	20-25
Средняя массодлина волокна, мм Average mass-length of fibre, mm	70-90	70-90	60-80	50-70
Средневзвешенная линейная плотность, текс Average linear density of fibre, tex	6-8	6-8	6-7	6-7
Разрывная нагрузка, кгс Breaking load, kgs	0-11			
*Пропускная способность линий практически одинаковая и в зависимости от исходного сырья составляет 500 и 1000 кг/ч.				
*Throughput capacity of the lines is almost the same and depending on the feedstock amounts to 500 and 1000 kg/h				

ставлены на рисунках 1-4 и в таблице 3.

Переработка масличного льна при пропускной способности линий 1000 кг/ч и перевозке рулонов к месту переработки на расстояние 50 км эффективна на всех рассматриваемых линиях и посевных площадях. Рентабельность производства при этом составит от 6,6 до 37,4% (рис. 1-4), а срок окупаемости капитальных затрат – от 48,5 до 3,1 лет (табл. 3). При увеличении расстояния перевозки рулонов до 100 км эффективной будет только переработка масличного льна на линии 2, однако на ней невозможно получить волокно с низким содержанием костры. Вследствие этого – ограниченный сбыт волокна или реализация по более низкой цене.

Переработка масличного льна при пропускной способности 500 кг/ч и перевозке рулонов к месту

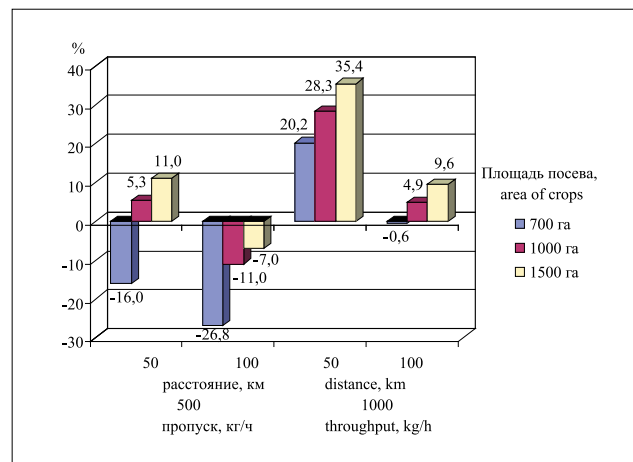


Рис. 1. Рентабельность переработки масличного льна на линии 1
Fig. 1. The profitability of oilseed flax processing with Line 1

Таблица 2		Table 2			
Исходные данные для расчета ТЭП линий					
INITIAL DATA FOR THE CALCULATION OF TEI OF PROCESSING LINES					
Наименование Indicator	Линия / Line				
	1	2	3	4	
Пропускная способность линии по сырью, кг/ч Throughput capacity of the line for raw material, kg/h	500 и 1000	500 и 1000	500 и 1000	500 и 1000	
Выход волокна, % Fibre output, %	30	30	28	25	
Цена реализации волокна, руб./кг Sale price of fibre, rub/kg	29	29	31	33	
Электрическая мощность оборудования, кВт Electric power of equipment, kW	70	68,4	103	83,6	
Капитальные затраты*, тыс. руб. Capital expenditures*, thousand rubles	14411,4	11025,6	11441,4	17240,9	
* цена нового оборудования * the price of new equipment					

переработки на расстояние 50 и 100 км не эффективна на всех линиях независимо от объема пере-

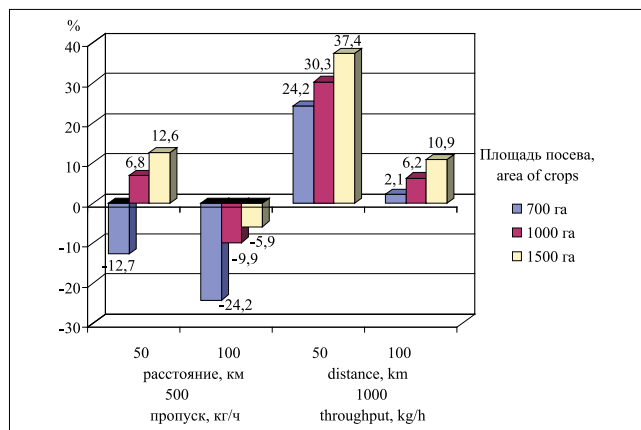


Рис. 2. Рентабельность переработки масличного льна на линии 2
Fig. 2. The profitability of oilseed flax processing with Line 2

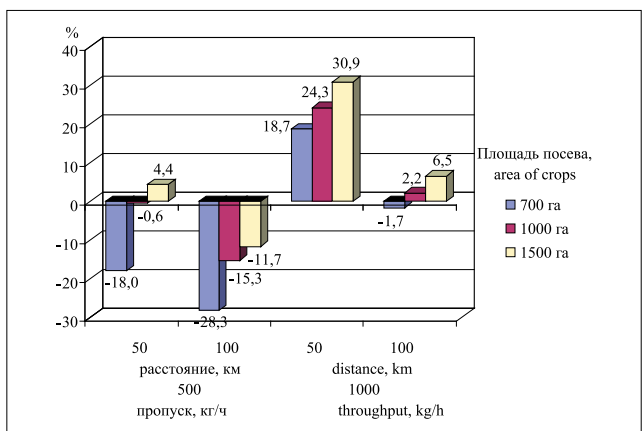


Рис. 3. Рентабельность переработки масличного льна на линии 3
Fig. 3. The profitability of oilseed flax processing with Line 3

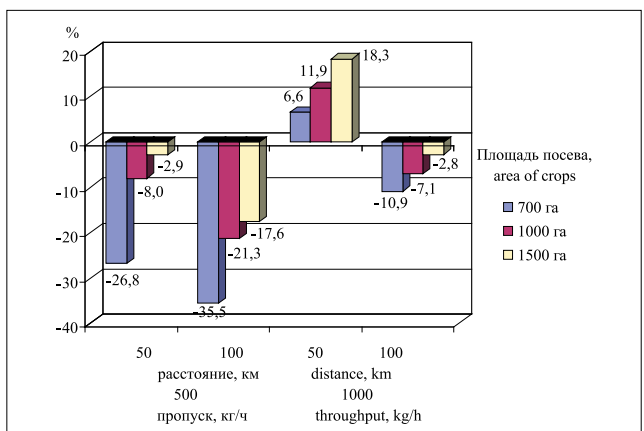


Рис. 4. Рентабельность переработки масличного льна на линии 4
Fig. 4. The profitability of oilseed flax processing with Line 4

рабатываемого сырья, так как приносит убыток или обеспечивает длительный срок окупаемости (табл. 3), что связано как со значительным удорожанием сырья ввиду большего расстояния его перевозки, так и с низкой пропускной способностью из-за повышения затрат на единицу готовой продукции (рис. 1-4).

Наиболее быстро окупятся затраты на органи-

Таблица 3					Table 3							
СРОК ОКУПАЕМОСТИ КАПИТАЛЬНЫХ ЗАТРАТ, ЛЕТ PAYBACK PERIOD OF CAPITAL EXPENDITURES, YEARS												
Линия Line	Площадь посева, га Crop acreage, ha											
	700				1000				1500			
	Расстояние перевозки, км Distance, km											
	50		100		50		100		50		100	
	Пропускная способность оборудования, кг/ч Capacity of equipment, kg/h											
	500	1000	500	1000	500	1000	500	1000	500	1000	500	1000
1	-	12,8	-	-	27,1	6,2	-	29,3	9,2	3,5	-	10,5
2	-	9,3	-	87,0	19,8	5,4	-	21,7	7,6	3,1	-	8,6
3	-	12,0	-	-	-	6,7	-	62,4	20,9	3,7	-	14,3
4	-	48,5	-	-	-	19,6	-	-	-	9,0	-	-



зацию переработки сырья на линии 2 (табл. 3), что связано с оптимальным соотношением цены волокна, его выхода и невысоких капитальных затрат (табл. 2).

Заслуживает внимания линия 3, так как она, как и линия 4, позволяет получить волокно с низким содержанием костры (табл. 3), значит, волокно будет лучше продаваться.

Линию 4 рекомендуется применять при площади посева 1000 га и выше и пропускной способности линий не менее 1000 кг/ч, а также при перевозках рулонов к месту переработки на расстояние не более 50 км (рис. 4).

Выводы

Переработка масличного льна с площади 500 га при пропускной способности 500 кг/ч на малогабаритном оборудовании и на оборудовании нормального габарита – малоэффективна и часто убыточна.

Наиболее рентабельна переработка масличного льна с площади не менее 1000 га при пропускной способности по сырью не менее 1000 кг/ч и при перевозках рулонов к месту переработки на расстояние не более 50 км.

Полученные технологические и экономические данные можно использовать при организации переработки масличного льна в ликвидное волокно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лукомец В.М. Перспективы и резервы расширения производства масличных культур в Российской Федерации // *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур*. 2015. Вып. 4 (164). С. 81-102.
2. Шушков Р.А. Обоснование целесообразности использования СВЧ-излучения для сушки льнотресты в ленте // *Молочнохозяйственный вестник*. 2016. N4(24). С. 99-111.
3. Головенко Т.Н. Промышленное использование соломы льна масличного как в мире, так и в Украине // *«Молодий вчений»*. Січень. 2017. N1 (41). С. 37-39.
4. Волобуев В.А., Ревенко В.Ю. Способ заделки в почву пожнивных и стерневых остатков растений льна масличного // *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур*. 2015. N1 (161). С. 96-100.
5. Новиков Э.В., Басова Н.В., Ушаповский И.В., Безбабченко А.В. Масличный лен как глобальный сырьевой ресурс для производства волокна // *Молочнохозяйственный вестник*. 2017. N3. (27). С. 187-204.
6. Тихосова А.А., Путинцева С.В., Головенко Т.Н. Перспективы использования волокна льна масличного для

производства текстильных материалов // *Вестник Витебского государственного технологического университета*. 2013. N24. С. 74-82.

7. Долгушкин Н.К. Технологическая модернизация – основа эффективности АПК, устойчивого развития сельских территорий // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2016. N3. С. 3-6.

8. Бейлис В.М. Оценка материально-технических ресурсов технологий производства сельскохозяйственных культур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N3. С. 39-44.

9. Ушаповский И.В., Новиков Э.В., Басова Н.В. Технико-экономический анализ переработки масличного льна в короткое волокно // *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур*. 2017. Вып. 4 (172). С. 113-118.

10. Королева Е.Н., Новиков Э.В., Ушаповский И.В., Шевалдин Д.М., Безбабченко А.В. Исследование различного состава технологического оборудования для первичной переработки масличного льна в ликвидное волокно // *Техника и оборудование для села*. 2017. N8 (242). С. 16-19.

REFERENCES

1. Lukomets V.M. Perspektivy i rezervy rasshireniya proizvodstva maslichnykh kul'tur v Rossiyskoy Federatsii [Prospects and reserves for the expansion of oil crop production in Russia] // *Maslichnyye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskii byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur*. 2015. Issue 4 (164): 81-102. (In Russian).
2. Shushkov R.A. Obosnovaniye tselesoobraznosti ispol'zovaniya SVCh-izlucheniya dlya sushki l'notresty v lente [Rationale for the use of microwave radiation to dry flax in swaths] // *Molochnokhozyaystvennyy vestnik*. 2016. N4 (24): 99-111. (In Russian).
3. Golovenko T.N. Promyshlennoye ispol'zovaniye solomy l'na maslichnogo kak v mire, tak i v Ukraine [Industrial use of straw oilseeds flax - the world's and Ukrainian experience] //

“Molodiy vcheniy”. Sichen'. 2017. N1 (41): 37-39.

4. Volobuyev V.A., Revenko V.Yu. Sposob zadelki v pochvu pozhnivnykh i sternevykh ostatkov rasteniy l'na maslichnogo [Method of embedding into the soil of flax stubble remains] // *Maslichnyye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskii byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur*. 2015. N1 (161): 96-100. (In Russian).

5. Novikov E.V., Basova N.V., Ushchapovskiy I.V., Bezbabchenko A.V. Maslichnyy len kak global'nyy syr'yevoy resurs dlya proizvodstva volokna [Oil flax as a global raw material resource for fibre production] // *Molochnokho-zyaystvennyy vestnik*. 2017. N3 (27): 187-204. (In Russian).

6. Tikhosova A.A., Putintseva S.V., Golovenko T.N. Perspektivy ispol'zovaniya volokna l'na maslichnogo dlya

производства текстильных материалов [Prospects of using oilseed flax fibre for producing textile materials] // *Vestnik Vitebskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2013. N24: 74-82. (In Russian).

7. Dolgushkin N.K. Tekhnologicheskaya modernizatsiya – osnova effektivnosti APK, ustoychivogo razvitiya sel'skikh territoriy [Technological modernization as the basis of agricultural industry efficiency and the sustainable development of rural territories] // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016. N3: 3-6. (In Russian).

8. Beylis V.M. Otsenka material'no-tekhnicheskikh resursov tekhnologiy proizvodstva sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Assessment of material and technical resources of crop production technologies] // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017. N3: 39-44. (In Russian).

9. Ushchapovskiy I.V., Novikov E.V., Basova N.V. Tekhniko-

ekonomicheskoy analiz pererabotki maslichnogo l'na v korotkoye volokno [Technical and economic analysis of the primary processing of oil flax into short fibre] // *Maslichnyye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskyy byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur*. 2017. Issue 4 (172): 113-118. (In Russian).

10. Koroleva Ye.N., Novikov E.V., Ushchapovskiy I.V., Shevaldin D.M., Bezbabchenko A.V. Issledovaniye razlichnogo sostava tekhnologicheskogo oborudovaniya dlya pervichnoy pererabotki maslichnogo l'na v likvidnoye volokno [Study of different elements of processing equipment for primary processing of oil flax in marketable fibre] // *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela*. 2017. N8 (242): 16-19. (In Russian).

Статья поступила в редакцию 13.06.2018

**The paper was submitted
to the Editorial Office on 13.06.2018**

Статья принята к публикации 23.08.2018

**The paper was accepted
for publication on 23.08.2018**

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

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

осуществляет подготовку
**на бюджетных и платных местах
по программам**

высшего образования – программам подготовки научно-педагогических кадров

высшего образования – программам магистратуры

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

Результаты лабораторных исследований почворежущих рабочих органов

Игорь Викторович Лискин¹,

научный сотрудник;

Яков Петрович Лобачевский¹,

доктор технических наук, член-корреспондент

Российской академии наук,

главный научный сотрудник;

Денис Александрович Миронов¹,

кандидат технических наук,

научный сотрудник,

e-mail: mironov-denis87@mail.ru;

Сергей Алексеевич Сидоров¹,

доктор технических наук,

главный научный сотрудник;

Андрей Иванович Панов²,

кандидат технических наук,

старший преподаватель

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

²Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация

Реферат. Исследования изнашивания почворежущих рабочих органов в полевых условиях имеют определенные сложности в связи с непостоянством свойств почвы. Представлены результаты лабораторного исследования силовых характеристик при изнашивании почворежущего клина в искусственной абразивной почвенной среде. (*Цель исследования*) Определить характер изменения сил резания в вертикальной и горизонтальной плоскостях в зависимости от условий и степени изнашивания почворежущего клина. (*Материалы и методы*) В качестве абразива использован кварц, как связующий компонент – парафин с добавками церезина и вазелина; для изменения гранулометрического состава модели почвы дополнительно вводили цемент, в качестве приводного механизма использовали поперечно-строгальный станок. (*Результаты и обсуждение*) Показано, что горизонтальная составляющая, или тяговое сопротивление, линейно усиливается с увеличением глубины резания. Нарастание скорости резания также приводит к росту тягового сопротивления клина, причем его величина возрастает в степенной зависимости от скорости. Установлено, что угол резания влияет не только на изменение тягового сопротивления клина, но и на характер образования стружки, которая изменяется при его увеличении и переходит от стружки отрыва к стружке сдвига, что способствует росту силы тяги. Выявили, что на усиление тягового сопротивления оказывает влияние повышение твердости абразивного материала и снижение плотности распределения твердых частиц в его объеме. С увеличением ширины затылочной фаски и ростом угла ее наклона к дну борозды повышались тяговые характеристики как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскости, причем наибольшее влияние на вертикальную составляющую оказывала ширина затылочной фаски. По мере изнашивания лезвия в зависимости от пути трения резко увеличивалась вертикальная составляющая сил трения, горизонтальная повышалась незначительно. (*Выводы*) Результаты проведенных исследований показали, что заглубляющая способность почворежущего клина в основном зависит от ширины затылочной фаски. На тяговое сопротивление клина большое влияние оказывают физико-механические свойства абразивной среды, условия резания и степень затупления лезвия.

Ключевые слова: абразивная модель почвы, почворежущий клин, затылочная фаска, интенсивность изнашивания лезвия.

■ **Для цитирования:** Лискин И.В., Лобачевский Я.П., Миронов Д.А., Сидоров С.А., Панов А.И. Результаты лабораторных исследований почворежущих рабочих органов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т 12. N4. С. 41-47. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-4-41-47

Laboratory Study Results of Soil-Cutting Operating Elements

Igor V. Liskin¹,

research associate;

Yakov P. Lobachevsky¹,

Dr.Sc.(Eng.), corresponding member of the Russian Academy of Sciences, chief research associate;

Denis A. Mironov¹,

Ph.D.(Eng.), Research Associate,

e-mail: mironov-denis87@mail.ru;

Sergei A. Sidorov¹,

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

Andrei I. Panov²,

Ph.D.(Eng.), senior lecturer

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

²Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

Abstract. Studying the wear of soil-cutting working tools in the field conditions has certain difficulties associated with the impermanence of soil properties. The paper presents the results of a laboratory study of the power characteristics in the process of wearing of a soil-cutting wedge in an artificial abrasive soil medium. (*Research purpose*) To determine the nature of changes in cutting forces in vertical and horizontal planes depending on the conditions and a degree of wear of a soil-cutting wedge. (*Materials and methods*) For the experiment, use was made of quartz as an abrasive material, paraffin with additives of ceresin and petrolatum as binding components; cement was additionally introduced to change the granulometric composition of a soil model, and a cross-planer was used as a drive mechanism. (*Results and discussion*) It has been shown that the horizontal component, or traction resistance, increases linearly with increasing the depth of cutting. An increase in the soil-cutting velocity also leads to an increase in the traction resistance of the wedge, and its magnitude increases in a power-law dependence on the velocity. It has been established that the cutting angle affects not only the variation of the wedge traction resistance, but also the shearing pattern, which changes as it increases and changes from shear shavings into shift shavings, which contributes to the traction force growth. It has been found that an increase in traction resistance is affected by an increase in the hardness of abrasive material and a decrease in the distribution density of solid particles in its volume. As the width of the back chamfer and the angle of its inclination to the furrow bottom increased, the traction characteristics both in the vertical and horizontal planes increased as well, the back chamfer width having the greatest influence on the vertical component. As the blade worn out depending on the friction path, the vertical component of frictional forces increased sharply, while the horizontal component increased insignificantly. (*Conclusions*) The results of the conducted studies have shown that the wedge depth mainly depends on the back chamfer width. The traction resistance of the wedge is greatly influenced by physical and mechanical properties of an abrasive medium, cutting conditions and a degree of the blade blunting.

Keywords: abrasive model of soil, soil wedge, back chamfer, intensity of blade wear.

■ **For citation:** Liskin I.V., Lobachevsky Ya.P., Mironov D.A., Sidorov S.A., Panov A.I. Laboratory study results of soil-cutting operating elements. *Selskokhozyaistvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. 12(4): 41-47. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-4-41-47. (In Russian)

Исследования изнашивания почворезущих рабочих органов в полевых условиях имеют определенные сложности в связи с непостоянством свойств почвы, обусловленным ее неоднородностью и изменяющимися погодными условиями [1]. Из-за сезонности полевых работ исследования часто не укладываются в один цикл (год), их приходится переносить на следующий, увеличивая время испытаний и накапливая ошибки в результатах опытов.

В послеуборочный период большое влияние на эксплуатационные характеристики почворезущих деталей оказывают остающиеся в пахотном слое корневые и пожнивные остатки [2]. Поэтому часто единственно возможными оказываются методы лабораторного исследования.

Цель исследования – определение характера изменения сил резания в вертикальной и горизонтальной плоскостях в зависимости от условий и степени изнашивания почворезущего клина.

Материалы и методы. Представлены результаты лабораторного исследования силовых характеристик при изнашивании почворезущего клина в абразивной среде, включающей твердые частицы, наиболее часто встречающиеся в почвенной массе (частицы кварца размером от 0,05 до 0,5 мм), и па-

рафин с дополнительными компонентами для изменения свойств абразивной модели почвенной среды. Другим основным компонентом почвы служат глинистые частицы, которые придают почве пластичность и определяют ее реологические свойства [3]. В естественных условиях почва одного и того же гранулометрического состава может изменять свои свойства в зависимости от влажности (погодных условий). Обоснование применения технического парафина с добавками церезина и вазелина в качестве связующего абразивных частиц вместо увлажненной глины основывалось на аналитическом расчете критериев подобия по методике В.А. Веникова для соответствия почвенной модели на основе песчано-парафиновой смеси реальным почвенным условиям разных регионов Российской Федерации [4, 5].

Предварительные испытания показали, что кривые изменения ползучести образцов водонасыщенного чернозема с различным предварительным уплотнением аналогичны образцам при замене в составе почвенной среды глины с водой на технический парафин с различными добавками абразивных (кварц) и пылевидных (цемента, гипса и т.п.) частиц. Применение парафина в качестве связующего вещества позволяет получить модель почвы,

обладающую стабильными свойствами в течение длительного времени. Выбор парафина в наших исследованиях базировался на опытных данных Г.Н. Синеокова, который отмечал, что при резании клином при температуре окружающей среды 18-22°C смесь парафина с абразивом разрушается путем отрыва, подобно суглинистым почвам [6]. Результаты лабораторных исследований показали сходство характера изнашивания лезвий в искусственном абразивном материале, состоящем из кварцевого песка и парафина, с естественными почвенными условиями. На лезвии образовалась затылочная фаска, наклоненная под отрицательным углом к дну борозды, и увеличились силы сопротивления резанию.

В работе представлены результаты лабораторных исследований усилий резания в вертикальной P_v (выталкивающая сила) и горизонтальной P_r (сопротивление движению) плоскостях (рис. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Эксперименты по влиянию условий резания на тяговое сопротивление клина проводили с образцами из Ст. 45, имеющими угол заточки $\theta = 30^\circ$ и толщину режущей кромки 0,2 мм. Относительно острое лезвие и отсутствие затылочной фаски не оказали существенного влияния на величину P_v , и ее значения колебались около нулевой отметки. В качестве приводного механизма использовали поперечно-строгольный станок.

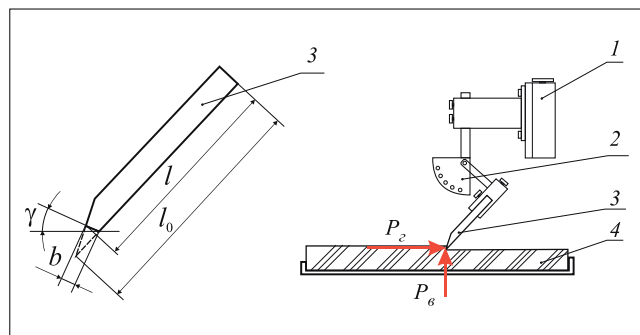


Рис. 1. Схема фрагмента лабораторной установки для определения силовых характеристик с усилиями резания в вертикальной (P_v) и горизонтальной плоскостях (P_r):

1 – приводной механизм с динамометром; 2 – приспособление для установки образца; 3 – опытный образец; 4 – абразивная среда; b – ширина затылочной фаски; γ – угол наклона затылочной фаски к дну борозды; l – длина образца при изнашивании; l_0 – длина нового образца

Fig. 1. Scheme of a fragment of a laboratory installation for determining the force characteristics with cutting forces in the vertical (P_v) and horizontal planes (P_r):

1 – a drive mechanism with a dynamometer; 2 – a device for sample setting; 3 – a prototype; 4 – an abrasive medium; b – the back chamfer width; γ – the inclination angle of the back chamfer to the furrow bottom; l – the length of the sample when it wears out; l_0 – the length of the new sample

На рисунке 2 представлены зависимости тягового сопротивления P_r клина от глубины h и скорости v резания.

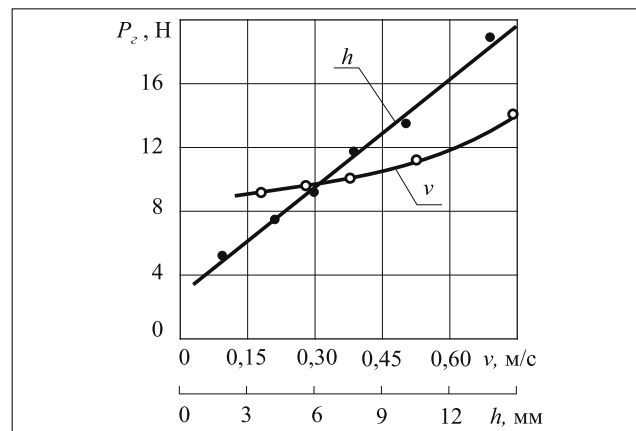


Рис. 2. Влияние глубины и скорости резания на тяговое сопротивление

Fig. 2. Effect of depth and cutting speed on traction resistance

С увеличением глубины h резания величина P_r непрерывно линейно увеличивается. Это указывает на возрастающее усилие, приходящееся на отрыв элементов стружки, размеры которых увеличиваются пропорционально глубине.

Измерения тягового сопротивления в полевых условиях при испытаниях на суглинистых почвах (рис. 3) подтвердили линейную зависимость, полученную в лабораторных условиях в пределах измерения глубины обработки почвы на вспашке от 16 до 28 см.

Повышение скорости v также приводит к росту тягового сопротивления клина, причем величина P_r возрастает в степенной зависимости от v , а уравнение кривой $P_r = f(v)$ описывается уравнением типа $y = ab^x$, где y и x соответственно означают P_r и коэффициент, зависящий от скорости v . Это свидетельствует о том, что после достижения некоторого интервала скоростей начинают быстро уменьшаться размеры почвенных фрагментов пласта (комковатость).

При этом силы сопротивления почвенной среды движению клина стремительно возрастают, что неизбежно приведет к усилению давления на режу-



Рис. 3. Измерение тягового сопротивления плуга в полевых условиях

Fig. 3. Measuring plow traction resistance in field conditions

щей кромке лезвия и, соответственно, большому ее износу [7].

Влияние угла резания α на тяговое сопротивление P_T лезвия клина показано на рисунке 4.

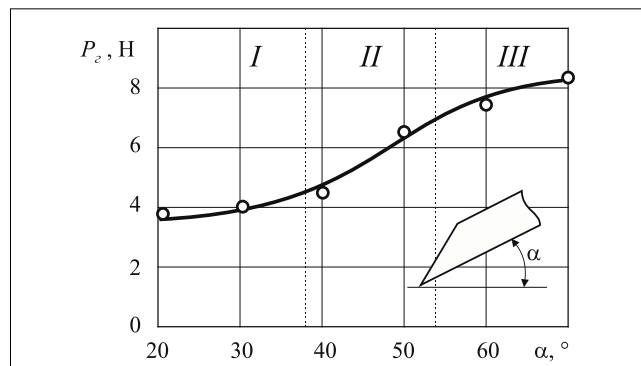


Рис. 4. Зависимость тягового сопротивления P_T от угла α
Fig. 4. Dependence of the traction resistance P_T on the angle α

Кривую $P_T = f(\alpha)$ можно разбить на три характерных участка. На участке I наблюдается близкое к линейному увеличение P_T по мере роста α . Участок II выделяется резким увеличением P_T с характерной областью перегиба. На участке III кривая вновь становится пологой, и в дальнейшем наблюдается рост P_T по зависимости, близкой к линейной.

Анализируя зависимость $P_T = f(\alpha)$, можно сделать вывод: на участке I при увеличении угла α до 40° значения P_T возрастают вследствие повышения энергии на разрушение пласта. С увеличением α размеры элементов стружки уменьшаются, крошение улучшается, соответственно возрастает тяговое сопротивление, как и при увеличении скорости резания. На участке II в интервале значений угла резания от 40 до 55° находится область образования уплотненного ядра, где к трению частиц абразива с поверхностью металла при движении лезвия добавляется внутреннее трение между абразивными частицами, периодически возникающими перед лезвием, которое способствует повышению усилий резания. На участке III с увеличением α более 55° происходит дальнейший рост P_T . В этом случае, помимо уплотненного ядра и увеличения энергии крошения пласта, на тяговое сопротивление оказывает значительное влияние постепенное изменение характера разрушения пласта с переходом от стружки отрыва (рис. 5а) к стружке сдвига (рис. 5б).

Результаты проведенных исследований показали, что при изменении вида разрушения почвы от стружки отрыва к стружке сдвига происходит увеличение энергии разрушения почвы вследствие замены вида разрушения от воздействия нормальных напряжений растяжения на разрушение под действием касательных напряжений сдвига [8].

На рисунке 6 представлены зависимости усилия резания P_T от твердости искусственной почвы H и

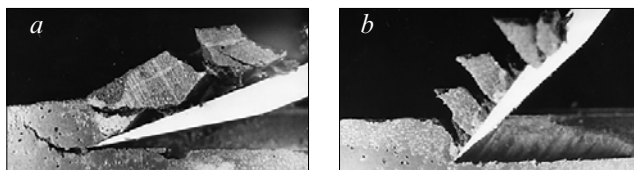


Рис. 5. Разрушения пласта с переходом от стружки отрыва (а) к стружке сдвига (б)

Fig. 5. Destruction of the formation with a transition from shear shavings (a) to shift shavings (b)

плотности распределения в объеме абразивных частиц ρ .

Как видно из рисунка 6, величина P_T возрастает с повышением H , причем функция $P_T = f(H)$ близка к линейной и уменьшается с увеличением ρ . Снижение величины P_T во втором случае происходит по причине уменьшения значений показателей связности почвы из-за увеличения количества твердых частиц кварца большего размера по сравнению с мелкими частицами пылевидного цемента, добавляемого в экспериментах в состав «искусственной почвы».

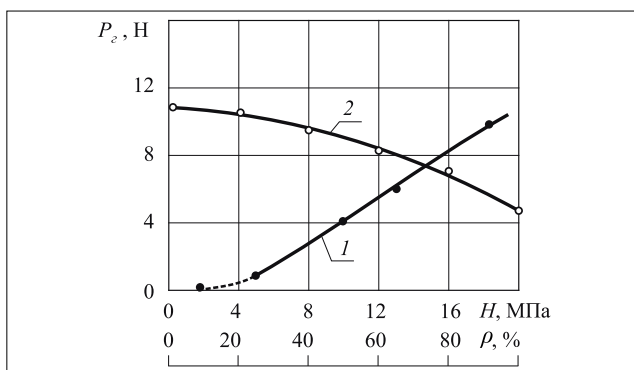


Рис. 6. Влияние твердости H и плотности распределения абразива ρ на усилие резания P_T

Fig. 6. The effect of hardness H and the distribution density of the abrasive particles ρ on the cutting force P_T

В эксплуатационных условиях подобные показатели получаются при обработке тяжелых суглинистых почв с большим содержанием мелких глинистых частиц, где тяговое сопротивление намного выше, чем на почвах со значительным содержанием более крупных кварцевых частиц, например, на песчаных и супесчаных [9, 10].

На следующем этапе исследований определяли влияние параметров затылочной фаски лезвия клина на усилия резания.

Для проведения опытов подготовили две партии изношенных образцов с первоначальным углом заточки θ_0 , равным 30°. Образцы первой партии имели одинаковый угол заострения после износа, равный 60° (при этом угол наклона затылочной фаски к дну борозды γ равнялся 10°), но различные значения ширины затылочной фаски $b = 0,5; 1,0$;

1,5; 2,0; 2,5; 3,0 мм. Это позволило определить влияние ширины b затылочной фаски на усилия резания в двух плоскостях (вертикальной P_v и горизонтальной P_r) независимо от угла ее наклона к дну борозды γ (рис. 7).

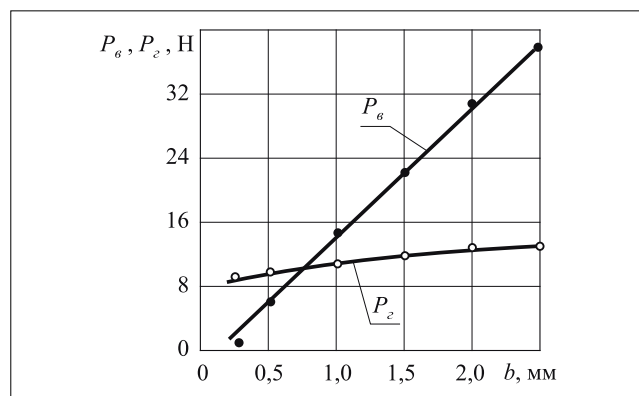


Рис. 7. Зависимости усилий резания P_r и P_v от ширины b затылочной фаски

Fig. 7. Dependence of cutting forces P_r and P_v on the width b of the back chamfer

Результаты исследования по влиянию ширины затылочной фаски на тяговое сопротивление почворезущего клина показали, что с увеличением параметра b повышаются значения как P_v , так и P_r , причем интенсивность роста силы P_v значительно превосходит увеличение P_r . Из этого следует, что величина b (при $\gamma = 10^\circ$) в наибольшей степени воздействует на заглубляющую способность лезвия клина, при этом тяговое сопротивление при увеличении b изменяется значительно меньше.

Вторая партия образцов имела равные значения ширины затылочной фаски b (1,5 мм), но разные углы заострения $\theta = 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 70^\circ$ и 80° . Использование образцов с одинаковой величиной b при установке под одним углом резания $\alpha = 20^\circ$ и постоянным одним углом начальной заточки $\theta_0 = 30^\circ$ позволило определить характер изменения сил резания в зависимости от угла наклона затылочной фаски к дну борозды, значение которого равнялось $\gamma = \theta - \theta_0 - \alpha$ (рис. 8а).

Зависимости составляющих сил резания от угла наклона затылочной фаски γ к дну борозды показаны на рисунке 8б.

С увеличением γ так же, как и b , наблюдается повышение значений P_v и P_r , однако резко выраженного ускорения роста одного из показателей по сравнению с другим не происходит, то есть угол γ играет одинаковую роль в изменении вертикальной и горизонтальной составляющих сил резания, а его увеличение приводит к снижению заглубляющей способности и повышению тягового сопротивления клина.

Дополнительно был проведен эксперимент по

исследованию сил резания в динамике изнашивания лезвия клина. На рисунке 9 представлены зависимости показателей P_v и P_r от пути трения S . Параметры b и γ при этом непрерывно изменялись.

По мере изнашивания лезвия в зависимости от пути S резко увеличивается вертикальная составляющая сил резания P_v , величина P_r возрастает незначительно. Это свидетельствует о том, что наибольшее влияние износ лезвия оказывает на заглубляющую способность почворезущего клина, при этом его тяговое сопротивление изменяется несущественно.

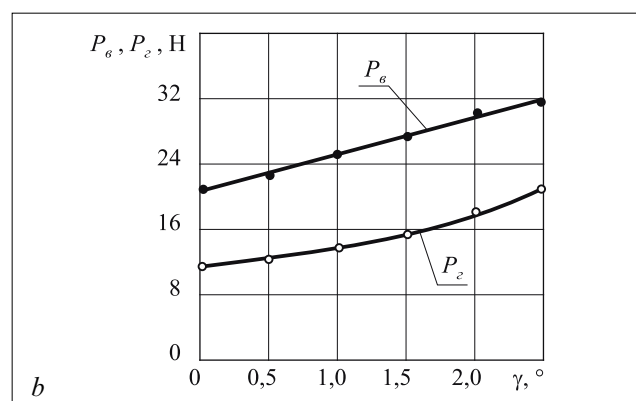
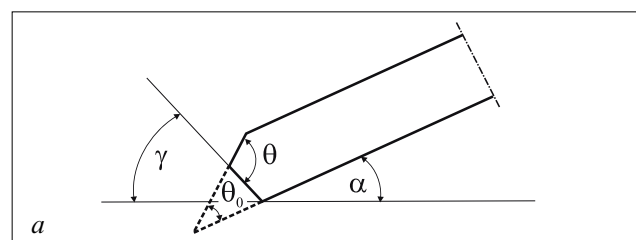


Рис. 8. Зависимости P_v и P_r от угла наклона затылочной фаски γ

Fig. 8. Dependences of P_v and P_r on the inclination angle of the back chamfer γ

Результаты проведенных исследований показали, что заглубляющая способность почворезущего клина в основном зависит от параметров затылочной фаски и в особенности от ее ширины. В результате проведенных исследований можно отметить, что выбранный в качестве заменителя натуральным почвенным условиям состав, включающий абразивные частицы кварцевого песка и парафина, в достаточной степени отражает процессы, происходящие в естественной почвенной среде при взаимодействии ее с рабочими органами почвообрабатывающих машин. Таким образом, если сопоставить полученные в натурных полевых исследованиях данные изнашивания лезвий почвообрабатывающих деталей с результатами лабораторных исследований, то можно сделать вывод о прямой зависимости между шириной затылочной фаски и углом ее наклона к дну борозды.

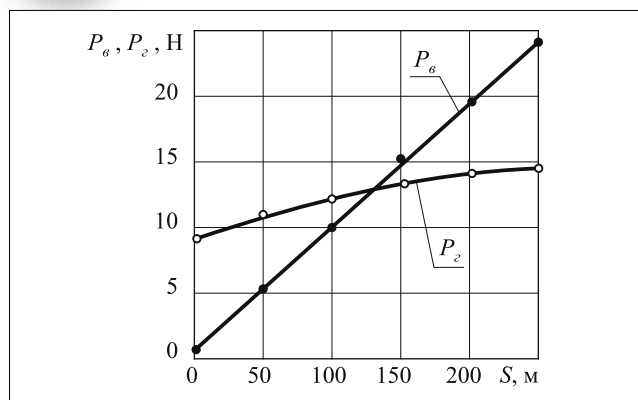


Рис. 9. Динамика изменения P_v и P_r при изнашивании лезвия
Fig. 9. Dynamics of changes in P_v and P_r in the course of the blade wearing

Лабораторные исследования позволяют более тонко и с большой точностью воспроизводить отдельные факторы, в частности, условия резания (скорость движения, глубина обработки, геометрические параметры лезвия, присущие почвообрабатывающим деталям), и определять их влияние на силовые характеристики непосредственно на одно единственное лезвие, не рассматривая комплексного воздействия (вариант лемешно-отвальной поверхности). В этом случае происходит наложение отдельных факторов, что приводит к искажению результатов и увеличению ошибок в опытных данных. Подобные явления происходят при изучении влияния физико-механических свойств, присущих натуральным почвенным условиям, взятым по отдельным критериям, что невозможно проделать в

реальных почвенных условиях, которые только в лабораторных исследованиях можно разделить на составляющие (твердость, связность абразивных частиц, наличие дополнительных включений и др.).

На тяговое сопротивление клина большее влияние оказывают физико-механические свойства почвы (абразивной среды), условия резания (скорость, глубина, угол установки лезвия к дну борозды) и степень затупления лезвия (угол заострения).

Выводы

1. Наиболее приемлемым материалом, замещающим натуральную почвенную среду, является абразивная смесь, обладающая стабильными свойствами, независимо от длительности проведения исследований, например, искусственная почвенная масса на основе твердых абразивных частиц и парафина.

2. Наибольшее влияние на тяговое сопротивление почворезущего клина оказывают физико-механические свойства абразивной среды (твердость, связность абразивных частиц, наличие дополнительных пылевидных включений), условия резания (скорость, глубина, угол резания) и острота лезвия клина (степень затупления).

3. Заглубляющая способность почворезущего клина зависит от износа лезвия, характеризующегося образованием в процессе изнашивания затылочной фаски, наклоненной под отрицательным углом к направлению движения, где основополагающим геометрическим параметром фаски, действующим на заглубляющую способность клина, служит ее ширина.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кашатанов А.Н., Сизов О.А. Проблемы восстановления угодий, выбывших из сельскохозяйственного использования // *Экономика сельского хозяйства России*. 2008. №11. С. 174.
2. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Сизов О.А., Волобуев В.А. Технологии, технические средства, для восстановления неиспользуемых и деградированных сельхозугодий // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2009. №4. С. 17-21.
3. Козлов А.В., Новиков Д.А., Машакин А.М. Современное состояние отечественных залежных земель и перспективы их восстановления // *Международный студенческий вестник*. М.: МГАО. 2015. №1. С. 121-123.
4. Веников В.А. Теория подобия и моделирования. М.: Высшая школа. 1976. 480 с.
5. Измайлов А.Ю., Лискин И.В., Лобачевский Я.П., Сидоров С.А., Хорошенков В.К., Миронова А.В., Лужнова Е.С. Применение теории подобия для моделирования износа почворезущих лезвий в искусственной абразивной среде // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2016. №6. С. 48-51.
6. Синекоков Г.Н. Проектирование почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение. 1965. 283 с.
7. Лискин И.В., Миронов Д.А., Курбанов Р.К. Обоснование параметров искусственной почвенной среды для лабораторного исследования изнашивания лезвия // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. №4. С. 37-42.
8. Chisholm T.S., Porterfield J.G., Batchelder D.G. A soil bin study of three-dimensional interference between flat plate tillage tools operating in an artificial soil. *Trans. of ASAE*. 1972. Vol. 15. №1. pp. 43-48.
9. Миронов Д.А., Лискин И.В., Сидоров С.А. Влияние геометрических параметров долота на тяговые характеристики и ресурс лемехов отечественных плугов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2015. №6. С. 25-29.
10. De Albuquerque J.C., Hettiaratchi D.R. Theoretical mechanics of subsurface cutting blades and buried anchors // *J. Agr. Eng. Res.* 1980. Vol. 25. pp. 121-144.
11. Измайлов А.Ю., Сидоров С.А., Лобачевский Я.П., Хорошенков В.К., Кузнецов П.А., Юрков М.А., Голоси-



енко С.А. Научные принципы повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающей техники // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2012. N3. С. 5-7.

12. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Сидоров С.А., Хорошенков В.К., Лужнова Е.С., Миронов Д.А., Зайцев

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

REFERENCES

1. Kashatanov A.N., Sizov O.A. Problemy vosstanovleniy ugodyy, vybyvshikh iz sel'skokhozyaystvennogo ispol'zovaniya [Problems of restoring lands abandoned from agricultural use] // *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii*. 2008. N11: 174. (In Russian).

2. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Sizov O.A., Volobuyev V.A. Tekhnologii, tekhnicheskiye sredstva, dlya vosstanovleniya neispol'zuyemykh i degradirovannykh sel'khozugodyy [Technologies and technical means applied for restoration of unused and degraded farmland] // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2009. N4: 17-21. (In Russian).

3. Kozlov A.V., Novikov D.A., Mashakin A.M. Sovremennoye sostoyaniye otechestvennykh zaleznykh zemel' i perspektivy ikh vosstanovleniya [Current state of domestic fallow lands and the prospects for their recovery] // *Mezhdunarodnyy studencheskiy vestnik*. M.: MGAO. 2015. N1: 121-123. (In Russian).

4. Venikov V.A. Teoriya podobiya i modelirovaniya [Theory of similarity and modeling]. M.: Vysshaya shkola. 1976: 480. (In Russian).

5. Izmaylov A.Yu., Liskin I.V., Lobachevskiy Ya.P., Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Mironova A.V., Luzhnova Ye.S. Primeneniye teorii podobiya dlya modelirovaniya iznosa pochvovrezhushchikh lezviy v iskusstvennoy abrazivnoy srede [Application of the theory of similarity for the modeling of wear of soil cutting blades in an artificial abrasive medium] // *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*. 2016. N6: 48-51. (In Russian).

6. Sineokov G.N. Proyektirovaniye pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Designing of soil-cultivating machines]. Moskva. Mashinostroyeniye. 1965: 283. (In Russian).

7. Liskin I.V., Mironov D.A., Kurbanov R.K. Obosnovaniye parametrov iskusstvennoy pochvennoy sredy dlya laboratornogo

issledovaniya iznashivaniya lezviya [Determination of artificial soil environment parameters for laboratory research of blade wear] // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017. N4: 37-42. (In Russian).

8. Chisholm T.S., Porterfield J.G., Batchelder D.G. A soil bin study of three-dimensional interference between flat plate tillage tools operating in an artificial soil. Trans. of ASAE. 1972. Vol. 15. N1: 43-48. (In English).

9. Mironov D.A., Liskin I.V., Sidorov S.A. Vliyaniye geometricheskikh parametrov dolota na tyagovyye kharakteristiki i resurs lemehov otechestvennykh plugov [Influence of geometrical parameters of a chisel on traction characteristics and resource of domestic plowshares] // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2015. N6: 25-29. (In Russian).

10. De Albuquerque J.C., Hettiaratchi D.R. Theoretical mechanics of subsurface cutting blades and buried anchors // *J. Agr. Eng. Res.* 1980. Vol. 25: 121-144. (In English).

11. Izmailov A.Yu., Sidorov S.A., Lobachevskiy Ya.P., Khoroshenkov V.K., Kuznetsov P.A., Yurkov M.A., Golosiyenko S.A. Nauchnyye printsipy povysheniya iznosostoykosti rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchey tekhniki [Scientific principles of increasing wear resistance of working elements of soil-cultivating machinery] // *Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*. 2012. N3: 5-7. (In Russian).

12. Izmailov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Luzhnova Ye.S., Mironov D.A., Zaytsev A.I., Rodionova I.G., Pavlov A.A., Amezhnov A.V. Ispol'zovaniye bimetallicheskikh staley dlya povysheniya resursa rabochikh organov sel'skokhozyaystvennykh mashin [The use of bimetallic steels for increasing the service life of the working elements of agricultural machines] // *Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*. 2013. N2: 80-81. (In Russian).

Статья поступила в редакцию 17.07.2018

The paper was submitted
to the Editorial Office on 17.07.2018

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья принята к публикации 11.09.2018

The paper was accepted
for publication on 11.09.2018

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Зона рыхления почвы культиваторной лапой

Владимир Васильевич Василенко,

доктор технических наук, заслуженный профессор,
vladv.vasilenko@yandex.ru;

Сергей Владимирович Василенко,

кандидат технических наук, доцент кафедры;
Виталий Сергеевич Борзило,
магистрант кафедры

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, г. Воронеж, Российская Федерация

Реферат. Культиваторные лапы расставляют дистанционно относительно друг друга или в составе комбинированных рабочих органов со сферическими дисками, чизельными и другими органами, поэтому распространение зоны деформации почвы при их работе на различную глубину и с различной скоростью движения представляет интерес для конструкторов при расчете технологических проходов для почвы во избежание их забивания. (*Цель исследования*) Определить зависимость ширины зоны рыхления почвы культиваторной лапой от глубины хода и скорости движения. (*Материалы и методы*) Провели исследования на стерневом фоне после уборки озимой пшеницы. Влажность и твердость почвы на глубине от 0 до 30 сантиметров изменялась соответственно от 9 до 13 процентов и от 0,28 до 0,87 Мегапаскалей. Состав агрегата – трактор МТЗ Беларусь 1221,2 и культиватор КРН-5,6. На каждой секции культиватора установили стрельчатую универсальную лапу с конструктивной шириной захвата 220 миллиметров. (*Результаты и обсуждение*) Выявили, что лапа образует взрыхленную полосу и полосу разброса почвы, ширина которых линейно зависит от глубины обработки и в пределах от 10 до 22 сантиметров изменяется соответственно от 31 до 42 и от 38 до 58 сантиметров. Скорость движения агрегата от 3 до 13 километров в час не оказывает влияния на ширину зоны рыхления, а зона разброса почвы увеличивается по закону слабо выраженной квадратичной параболы. Предложены эмпирические зависимости ширины зон рыхления и разброса от глубины обработки, скорости движения и ширины захвата лапы. (*Выводы*) Интервал между лапами в одном ряду не должен быть меньше указанной ширины зоны рыхления. Приведен пример удачной расстановки рабочих органов шириной 410 миллиметров на комбинированных агрегатах серии РВК. Комбинированные орудия работают с высокой технологической надежностью по стерне подсолнечника, не забиваясь почвой и растительными остатками при основной обработке поля по технологии минимального воздействия.

Ключевые слова: зона рыхления, зона разброса почвы, глубина обработки, скорость движения, линейная зависимость, квадратичная парабола, рыхлитель-выравниватель почвы.

■ Для цитирования: Василенко В.В., Василенко С.В., Борзило В.С. Зона рыхления почвы культиваторной лапой // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №4. С. 48-52. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-4-48-52

Zone of Soil Loosening with Cultivator Sweeps

Vladimir V. Vasilenko,

Dr.Sc.(Eng.), honored professor,
e-mail: vladv.vasilenko@yandex.ru;

Sergey V. Vasilenko,

Ph.D.(Eng), associate professor;
Vitaliy S. Borzilo,
M.Sc. student

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, Voronezh, Russian Federation

Abstract. Cultivator sweeps are placed remotely relative to each other or as parts of combined working tools with spherical discs, chisels and other parts, so the propagation of a zone of soil deformation during their operation at different depths and at different speeds is studied by designers for the calculation of technological runs in order to avoid their clogging with soil. (*Research purpose*) To determine the dependence of the width of the soil loosening zone with a cultivator sweep on the depth of travel and the speed of travel. (*Materials and methods*) Studies have been conducted on a stubble soil background after harvesting of winter wheat. Humidity and hardness of soil at a depth of 0 to 30 centimeters varied accordingly from 9 to 13 percent and from 0.28 to 0.87 MPa. The structure of the unit has been represented by the tractor MTZ Belarus 1221,2 and the cultivator KRN-5,6. Each section of the cultivator housed a universal sweep with a design working width of 220

mm. (*Results and discussion*) It has been found that a sweep forms a loosened strip and a strip of soil scattering, the width of which depends linearly on the tillage depth ranging from 10 to 22 cm and varies in the range from 31 to 42 and 38 to 58 cm, respectively. The unit travel speed ranging from 3 to 13 km/h does not affect the width of the loosening zone, and the zone of soil scattering increases according to the law of a weakly expressed quadratic parabola. The authors present empirical dependences of the width of the loosening and scattering zones on the tillage depth, the travel speed and the sweep width. (*Conclusions*) It has been found that the interval between the sweeps in one row should not be less than the specified width of the loosening zone, which has been confirmed as exemplified by a successful arrangement of working elements with a width of 410 mm on the combined units of the RVK series. Combined tools work with high technological reliability for sunflower stubble, without being clogged with soil and plant residues during the main field operations performed according to the minimal impact technology.

Keywords: zone tillage, moving apart the soil zone, depth of processing, movement speed, linear dependence, quadratic parabola, cultivators-leveller of the soil.

For citation: Vasilenko V.V., Vasilenko S.V., Borzilo V.S. Zone of soil loosening with cultivator sweeps. *Sel'skokhozyaistvennye mashiny i tekhnologii*. 2018. 12(4): 48-52. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-4-48-52. (In Russian)

Комбинация почвообрабатывающих рабочих органов на одной раме, а иногда и на одной стойке, требует обоснования минимально возможной дистанции между составными элементами, при которой почва без забиваний будет продвигаться в технологических проходах. Культиваторные лапы часто используют в сочетании со сферическими дисками и чизельными органами, поэтому большой интерес для конструкторов-проектировщиков комбинированных орудий представляют проблемы распространения зоны деформации почвы на различную глубину и с различной скоростью перемещения в целях рациональной расстановки лап на рамах или секциях культиваторов для сплошной или междурядной обработок.

Компактность расстановки рабочих элементов необходима для уменьшения габаритов и металлоемкости изделия [1]. Особенно важно учитывать траектории движения почвенных пластов при постановке дополнительных рабочих органов на серийно выпускаемые орудия. Например, последние исследования по увеличению угла оборота почвенных пластов при отвальной вспашке доказывают, что для расширения борозды дополнительные рабочие органы должны отодвигать опрокинутый пласт только после того, как он завершит свой оборот [2, 3]. Последующий пласт беспрепятственно уляжется в широкую борозду с полным оборотом на 180°. В общем случае при одновременном воздействии на почвенный пласт или на почвенную площадку двух рабочих органов нельзя допускать наложения зон деформации обрабатываемой среды. Нужно развести во времени или в пространстве формирование этих зон, иначе увеличивается вероятность отказа орудия из-за загромождения технологических проходов для почвы. Исключение составляют лишь активные органы, имеющие вращение или вибрацию [3, 4]. При глубоком рыхлении почвы культиватором ее деформация распро-

страняется вперед и в стороны. Дальность перемещений почвы увеличивается с повышением скорости движения агрегата [5-7]. Чем больше скорость движения и глубина хода культиваторной лапы, тем больше сила взаимодействия с почвой и нормальное напряжение в конструкции лапы, а это способствует увеличению дальности перемещения почвы [8].

Цель исследования. Определить зависимость ширины зоны рыхления почвы культиваторной лапой от глубины хода и скорости движения.

Материалы и методы. Опыты проводили в одном из хозяйств Воронежской области на стерневом фоне после уборки озимой пшеницы. Влажность и твердость почвы на глубине от 0 до 30 см изменялась соответственно от 9 до 13% и от 0,28 до 0,87 МПа. Состав агрегата – трактор МТЗ Беларус 1221,2 и культиватор КРН-5,6. На каждой секции культиватора было установлено по одной стрельчатой универсальной лапе с конструктивной шириной захвата 220 мм. На участке поля размером 50×50 м агрегат выполнял рабочие проходы с предварительно установленной глубиной обработки. Время измеряли секундомером, фактическую глубину обработки и ширину взрыхленных полос – металлическими линейками. При обработке данных вычисляли средние значения результатов измерений по всем секциям культиватора.

Результаты и обсуждение. Визуально установлено, что стрельчатая лапа расклинивает почвенный пласт на два потока в результате деформирующего воздействия груди рабочего органа. Разрыхленные части пласта смещаются в обе стороны от оси лапы. Некоторая часть почвы поднимается на переднюю грань стойки, затем сползает с нее и отбрасывается в сторону. В результате такого воздействия за стойкой лапы образуется бороздка, размеры которой увеличиваются при повышении скорости и глубины обработки. При скорости движе-

ния агрегата 10 км/ч и более и глубине обработки 6-8 см дно борозды оголяется.

Результаты измерений ширины обработанной полосы показали, что следует различать зону рыхления и зону разброса почвы. Разброс всегда шире, чем рыхление, и если ориентироваться на него при расстановке рабочих органов на раме, то можно получить огрехи в обработке почвы. Зависимость ширины зоны рыхления от глубины обработки определяли при скорости движения агрегата 9-10 км/ч. Эта зависимость оказалась линейной (рис. 1), ее можно аппроксимировать выражением:

$$b_{\text{рых}} = b_{\text{кон}} + 0,91a, \quad (1)$$

где $b_{\text{рых}}$ – ширина зоны рыхления, см; $b_{\text{кон}}$ – конструктивная ширина захвата лапы, см; a – глубина обработки, см.

Зависимость ширины зоны разброса от глубины обработки также носит линейный характер:

$$b_{\text{разб}} = b_{\text{кон}} + 1,65a, \quad (2)$$

где $b_{\text{разб}}$ – ширина зоны разброса, см.

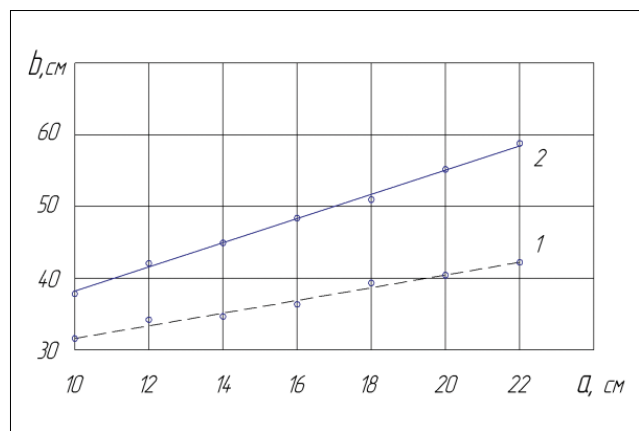


Рис. 1. Зависимость ширины зоны рыхления (1) и зоны разброса почвы (2) от глубины хода культиваторной лапы (экспериментальные данные)

Fig. 1. Dependence of the loosening zone width (1) and the soil dispersion zone (2) on the cultivator sweep depth (experimental data)

Влияния скорости движения на ширину зоны рыхления при глубине обработки 12 см не обнаружено (рис. 2). Ширина взрыхленной полосы оставалась в пределах 33-35 см, тенденций к ее изменению не выявлено. Что касается ширины полосы разброса почвы, то ее зависимость от скорости движения можно аппроксимировать параболой:

$$b_{\text{разб}} = b_{\text{кон}} + 15,65 + 0,056V^2, \quad (3)$$

где V – скорость движения агрегата, км/ч.

Полученные эмпирические зависимости применили при проектировании рыхлителей-выравнивателей РВК-6, РВК-4, РВК-3. Их изготовление было осуществлено в творческом содружестве Воронеж-

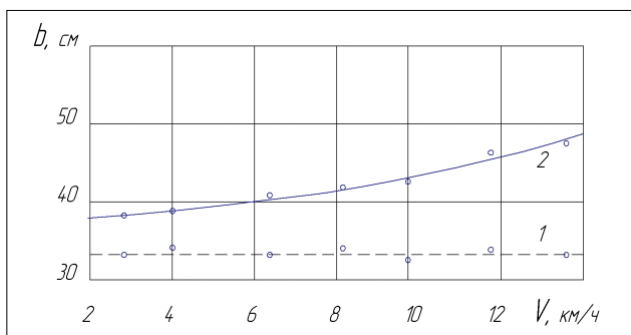


Рис. 2. Зависимость ширины зоны рыхления (1) и зоны разброса почвы (2) от скорости движения агрегата (экспериментальные данные)

Fig. 2. Dependence of the loosening zone width (1) and the soil dispersion zone (2) on the unit travel speed (experimental data)

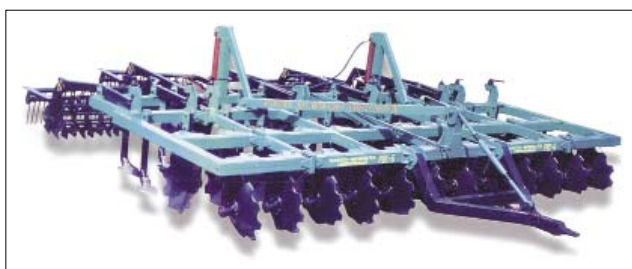


Рис. 3. Рыхлитель-выравниватель РВК-6

Fig. 3. RVK-6 cultivator-leveler

ского государственного аграрного университета и машиностроительных малых предприятий «Аква-Свар» и «ВСЗ-Холдинг», созданных на базе Воронежского станкостроительного завода (рис. 3).

Это прицепные комбинированные орудия с различной шириной захвата для агрегатирования с тракторами тяговых классов от 1,4 до 5. Они предназначены для минимальной обработки почвы вместо отвальной вспашки. Рабочими органами служат два ряда сферических вырезных дисков диаметром 660 мм с индивидуальной системой крепления к раме, два ряда стрельчатых культиваторных лап шириной захвата 410 мм, двойной несущий каток, оборудованный плоскими вырезными дисками, и прутковый штригель для окончательного выравнивания поверхности почвы. Индивидуальное крепление дисков вместо батарейного сокращает продольный размер орудия, особенно при установке больших углов атаки. В местах, где крайние диски обращены вогнутой частью наружу, при большой скорости движения наблюдается отбрасывание почвы далеко в сторону, поэтому на раме крепятся своеобразные экраны для отражения летящей почвы внутрь ширины захвата. Набор рабочих органов на этом комбинированном орудии обеспечивает ему уверенную работу на любом агрофоне. Оно не требует предварительного лущения стерни и может за один рабочий проход подготовить почву от стерневого фона до полной готовно-

сти к посеву озимых культур. Максимальная глубина обработки доходит до 20-22 см. Преимущества комбинированных культиваторов, оборудованных сферическими дисками и лапами, проявляются в уменьшении энергозатрат и хорошем выравнивании поверхности почвы [10].

Известно, что дисковые органы формируют волнистое дно борозды. Если диаметр дисков равен 660 мм, то при двухрядной расстановке их с интервалами 500 мм в каждом ряду, глубине хода 20 см и угле атаки 25° высота остаточных гребешков на дне борозды равна 18 см. Для выравнивания дна борозды культиваторные лапы и диски отрегулированы на одинаковую глубину хода.

Ширина зоны рыхления культиваторной лапой в соответствии с выражением (1), равна 59 см. Что касается ширины зоны разброса, то по выражению (3) она равна 65 см, а с учетом выражения (2) – может достигать 80 см. Поэтому при проектировании расстановки лап расстояние между ними в одном ряду было принято равным 800 мм (рис. 4). При ширине захвата лап 410 мм обеспечивается полное подрезание почвы с минимальным перекрытием зон резания, всего 0,5 см, но этого достаточно с учетом дополнительного действия дисков.

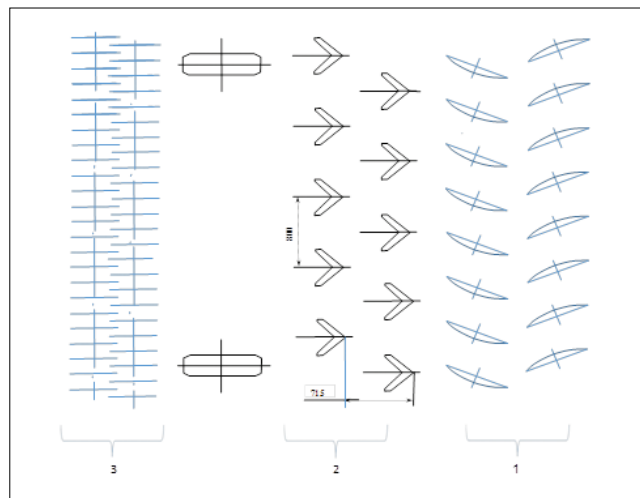


Рис. 4. Схема расстановки рабочих органов на рыхлителе-выравнивателе РВК-4 (вид сверху): 1 – два ряда сферических дисков; 2 – два ряда стрелчатых лап; 3 – двухшальный игольчато-дисковый каток

Fig. 4. Diagram of the arrangement of working tools on the cultivator-leveler RVK-4 (top view): 1 – two rows of spherical disks; 2 – two rows of sweeps; 3 – two-shaft needle roller

Продольное расстояние между рядами лап зависит от расчетной скорости движения. Во избежание перекрытия зон деформации почва, поднятая вверх передним рядом, должна успеть вернуться на поверхность поля до прихода заднего ряда лап. Вертикальная скорость подбрасывания почвы лапой может быть вычислена согласно выражению:

$$V_{\text{вер.}} = Vtga, \text{ м/с,}$$

где V – скорость движения агрегата, м/с; α – угол подъема лапы, для универсальных стрелчатых лап $\alpha = 18^\circ$.

Подброшенная почва находится в полете в течение:

$$t = \frac{2V_{\text{вер.}}}{g}, \text{ с,}$$

где g – ускорение свободного падения, м/с².

Из всех вариантов стандартных культиваторных лап по их ширине захвата были выбраны максимально широкие, чтобы избежать частоккола стока. Если на поле встречаются растительные остатки длинностебельных культур, то многочисленные стойки работают как грабли, накапливая на себе увядшие стебли.

При расчетной скорости движения агрегата $V = 3,33$ м/с начальная скорость подбрасывания почвы $V = 1,07$ м/с, время ее полета $t = 0,22$ с, минимальная дистанция между рядами лап $L = Vt = 0,71$ м. Это расстояние и предусмотрено между рядами культиваторных лап у серии рыхлителей-выравнивателей типа РВК. Такая конструкция позволила им работать без забивания почвой и растительными остатками даже по нетронутой стерне подсолнечника и за один рабочий проход подготавливать почву к посеву зерновых (рис. 5).



Рис. 5. Рыхлитель-выравниватель РВК-4 в работе по стерне подсолнечника

Fig. 5. RVK-4 cultivator-leveler operating on sunflower stubble

Выводы. Ширина зоны рыхления почвы стрелчатой универсальной культиваторной лапой линейно зависит от глубины ее хода (от 10 до 22 см) и изменяется от 31 до 42 см при конструктивной ширине захвата 22 см. Зона разброса взрыхленной почвы также линейно зависит от этого параметра и изменяется от 38 до 58 см при тех же глубинах хода. Скорость движения агрегата при ее варьировании от 3 до 13 км/ч не оказывает влияния на ширину зоны рыхления, а зона разброса почвы увеличивается по закону слабо выраженной квадратичной параболы. При расстановке культиваторных лап на раме ору-

для интервал между ними в одном ряду желательно проектировать большим или равным ширине зоны разброса почвы (при возможности) и обязательно больше ширины рыхления, определяемой по приведенным графикам. Разброс почвы формирует меньшую толщину слоя, не загромождающую технологические проходы между лапами.

Серия унифицированных прицепных комбинированных рыхлителей-выравнивателей РВК с различной шириной захвата, спроектированных по результатам приведенных расчетов, работает с полным коэффициентом технологической надежности, не забиваясь почвой и растительными остатками при основной обработке поля по технологии минимального воздействия.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ефремова Е.Н. Агрофизические показатели почвы в зависимости от различных обработок почвы // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2013. №2. С. 67-72.
2. Бартенев И.М. Ударное разрушение и активный оборот почвенного пласта при вспашке // *Лесотехнический журнал*. 2016. №1. С. 98-110.
3. Василенко В.В., Василенко С.В., Зыбин М.В. Увеличение угла переворота пласта при вспашке // *Вестник Воронежского ГАУ*. Воронеж, 2013. №1(36). С. 98-100.
4. Кленин Н.И. Сельскохозяйственные машины. М.: КолосС. 2008. 816 с.
5. Василенко В.В., Афоничев Д.Н., Василенко С.В., Тимофеев И.Ю. Обоснование направления вибрации почвообрабатывающего рабочего органа // *Вестник Воронежского ГАУ*. Воронеж, 2017. №4(55). С. 134-139.
6. Hanna H. Mark, Marley Stephen J., Erbach Donald C., Melvin Stewart W. Soil & Tillage Research, Methods for measuring soil velocities caused by a sweep 28 (1994) 315-328.
7. Руденко Н.Е., Носов И.А., Кайванов С.Д., Петухов Д.А. Ресурсосберегающий пропашной культиватор // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. №4. С. 31-36.
8. Руденко Н.Е., Кайванов С.Д., Заявляк Ф.Н. Инновационная стрельчатая почвообрабатывающая лапа // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2016. №6. С. 16-20.
9. Chiorescu E., Chiorescu D. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 227 (2017) 012023 The variation of the unitary stresses occurring in the working part in relation to the type of soil, using the finite element method.
10. Fanigliulo R., Biocca M., Pochi D. Journal of Agricultural Engineering 2016; XLVII: 519 Effects of six primary tillage implements on energy inputs and residue cover in Central Italy. pp. 177-180.

REFERENCES

1. Yefremova Ye.N. Agrofizicheskiye pokazateli pochvy v zavisimosti ot razlichnykh obrabotok pochvy [Agrophysical indices of soil depending on various soil cultivation modes] // *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vyssheye professional'noye obrazovaniye*. 2013. №2: 67-72. (In Russian)
2. Bartenev I.M. Udarnoye razrusheniye i aktivnyy oborot pochvennogo plasta pri vspashke [Impact destruction and active circulation of a soil stratum in plowing] // *Lesotekhnicheskij zhurnal*. 2016. №1: 98-110. (In Russian).
3. Vasilenko V.V., Vasilenko S.V., Zybin M.V. Uvelicheniye ugla pe-revorota plasta pri vspashke [Increasing the layer revolution angle in plowing] // *Vestnik Voronezhskogo GAU*. Voronezh, 2013. 1 (36): 98-100. (In Russian).
4. Klenin N.I. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny [Farm machinery]. M.: KolosS. 2008: 816. (In Russian).
5. Vasilenko V.V., Aфоничев D.N., Vasilenko S.V., Timofeyev I. Yu. Obosnovaniye napravleniya vibratsii pochvoobratyvayushchego rabocheho organa [Determination of the vibration direction of a tillage tool] // *Vestnik Voronezhskogo GAU*. Voronezh, 2017. 4 (55): 134-139. (In Russian).
6. Hanna H. Mark, Marley Stephen J., Erbach Donald C., Melvin Stewart W. Soil & Tillage Research, Methods for measuring soil velocities caused by a sweep 28 (1994): 315-328. (In English).
7. Rudenko N.Ye., Nosov I.A., Kayvanov S.D., Petukhov D.A. Resurso-sberegayushchiy propashnoy kul'tivator [Resource-saving row-crop cultivator] // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017. 4: 31-36. (In Russian).
8. Rudenko N.Ye., Kayvanov S.D., Zavyalik F.N. Innovatsionnaya strel'chataya pochvoobratyvayushchaya lapa [Innovative sweeps] // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016. 6: 16-20. (In Russian).
9. Chiorescu E., Chiorescu D. The variation of the unitary stresses occurring in the working part in relation to the type of soil, using the finite element method. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 227. 2017. 1: 20-23. (In English).
10. Fanigliulo R., Biocca M., Pochi D. Journal of Agricultural Engineering 2016; XLVII:519 Effects of six primary tillage implements on energy inputs and residue cover in Central Italy 177-180. (In English).

Статья поступила в редакцию 18.05.2018
The paper was submitted
to the Editorial Office on 18.05.2018

Статья принята к публикации 25.07.2018
The paper was accepted
for publication on 25.07.2018

Конфликт интересов.
 Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Размещение сферических дисков фронтальных борон

Алексей Феодосьевич Жук¹,
кандидат технических наук,
ведущий специалист;

Казбек Аюбович Сохт²,
доктор технических наук, профессор кафедры,
e-mail: kazbek.sokht@yandex.ru

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

²Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, г. Краснодар, Российская Федерация

Реферат. В почвообрабатывающих машинах широко используют дисковые сферические рабочие органы, которые служат элементной базой комбинированных агрегатов и дисковых борон, в том числе многорядных с дисками на индивидуальных стойках. Орудия применяют при выполнении традиционной технологии на основе отвальной вспашки при мелкой обработке после поздно убранных предшественников, например, кукурузы, подсолнечника, а также в технологиях NO-TIL. *(Цель исследования)* Обосновать размещение рабочих органов на раме дисковой бороны, обеспечивающее уменьшение необходимого количества дисков и повышение качества обработки почвы. *(Материалы и методы)* Выполнили анализ размещения дисковых рабочих органов бороны и выявили их рациональное расположение и взаимную ориентацию в рядах, увеличивающие ширину обработки смежных полос почвы, улучшающие полноту подрезания и рыхления пласта по всей ширине захвата при уменьшении необходимого количества дисков. *(Результаты и обсуждение)* Установили такое взаимное размещение дисков в их рядах, при котором улучшается сдвиг почвы, повышается количество полосок, обрабатываемых в свал смежными дисками. Показали, что размещение рабочих органов последующего ряда с учетом ориентации смежных дисков предыдущего позволяет при полном подрезании почвы по всей ширине захвата дисковой бороны экономить один рабочий орган на каждые 400 миллиметров ширины ее захвата. *(Выводы)* Выявили, что при обработке почвы диском с перемещением ее в сторону уже обработанной смежной полосы технологическая ширина захвата диска увеличивается за счет проявления деформации отрыва и сдвига почвы. Предложили порядок расположения сферических дисков и их взаимную ориентацию, повышающие качество обработки почвы, полноту подрезания по всей ширине захвата, а также возможность уменьшения их количества.

Ключевые слова: обработка почвы, дисковая борона, размещение дисков, сокращение количества дисков, полнота подрезания почвы.

■ **Для цитирования:** Жук А.Ф., Сохт К.А. Размещение сферических дисков фронтальных борон // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №4. С. 53-56. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-4-53-56

Arrangement of Spherical Disks for Frontal Harrows

Aleksei F. Zhuk¹,
Ph.D.(Eng), key expert;

Kazbek A. Sokht²,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: kazbek.sokht@yandex.ru

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

²Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation

Abstract. Disk-type spherical working tools are widely used in soil-cultivating machines, where they serve as an element base for combined units and disk harrows, including the multi-row ones with disks on individual racks. The tools are used in the implementation of traditional technologies based on reversible plowing, with surface tillage after late-harvested predecessors, for example, corn, sunflower, and also in NO-TIL technologies. *(Research purpose)* To determine the arrangement of working tools on the disk harrow frame, which reduces the required number of disks and improves the quality of soil cultivation. *(Materials and methods)* The authors have analyzed the arrangement of disk harrow working tools and determined their rational arrangement and mutual positions in the rows, which increases the tillage width between adjacent soil strips, thus improving the completeness of soil shearing and loosening over the entire operating width with simultaneous decreasing of the required number of disks. *(Results and discussion)* The authors have determined the interrelated arrangement of disks in their rows, aimed at improving soil shearing, so that the number of strips tilled

into a ridge by adjacent disks increases. It has been shown that the arrangement of working tools of the consecutive row determined by the orientation of the adjacent disks of the previous row, allows to economize one working tool for every 400 mm of its operating width when shearing the soil all the way across the entire width of the disk harrow. (*Conclusions*) It has been established that when soil is tilled with a disk and moved toward the already processed adjacent strip, the technological width of the disk coverage increases due to the deformation of soil tearing and shearing. The authors have proposed the arrangement order of spherical disks and their mutual orientation, which improves the quality of soil cultivation, the completeness of soil shearing along the entire operating width, and leads to a reduction in the number of disks.

Keywords: soil cultivation, disk harrow, disks arrangement, reduction of the number of disks, completeness of soil shearing.

For citation: Zhuk A.F., Sokht K.A. Arrangement of spherical disks for frontal harrows. *Selskokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. 12(4): 53-56. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-4-53-56. (In Russian).

Агротехнические требования к обработке почвы дисковыми боронами зависят от ее назначения: предпосевная после отвальной вспашки, основная мелкая или другое. При этом важнейшее требование к дисковой бороне – полнота подрезания, сдвига почвенного пласта по всей ширине ее захвата. Этому требованию должны отвечать многорядные бороны с фронтально расположенными дисками на индивидуальных стойках. Параметры размещения дисков в таких боронах подбирают экспериментально. Увеличение количества дисков на единицу ширины захвата повышает их стоимость по сравнению с традиционными боронами батарейного типа, ухудшает устойчивость их работы на сильно засоренных полях.

Цель исследования – повышение качества обработки почвы и уменьшение необходимого количества дисковых рабочих органов за счет коррекции их размещения на раме бороны.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. При работе плоского диска с углом атаки α почва воспринимает деформацию сжатия и сдвига, а от конусного или сферического диска, отклоненного от вертикальной плоскости под углом β , – деформацию отрыва и сдвига. При этом облегчается подъем пласта вверх по сферическому или конусному диску. Отдельный диск, как правило, рыхлит монолитную почву только на ширину вырезаемой в ней полосы сечением в виде сегмента эллипса с хордой на уровне поверхности почвы (рис. 1) [1-3]. Однако боковые напряжения отрыва и сдвига, создаваемые диском, могут разрушить дополнительную полосу почвы, образованную впереди идущим диском между обрабатываемой и уже обработанной почвой [4, 5].

Длина элементов стружки, образующихся в результате отрыва и сдвига, зависит от ширины почвенной полоски между полосой, вырезанной диском в монолите, и почвой со структурой, нарушенной впереди идущим диском, обрабатывающим смежную полосу. Эта длина должна быть меньше средней длины стружки, так как диск движется в продольном направлении, а боковое разрушение дополнительной полоски почвы происходит только в результате временного действия нормальных

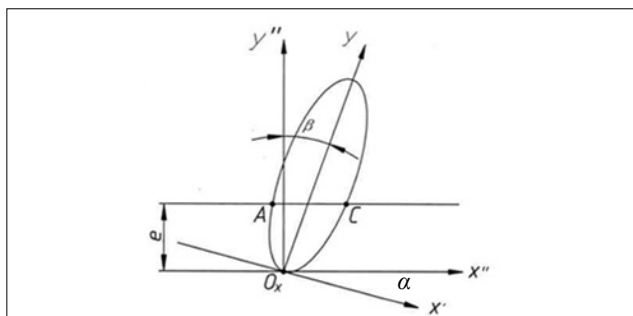


Рис. 1. Форма выреза почвы из монолита сферическим диском с углом атаки α и углом наклона от вертикальной поверхности β (e – глубина обработки)

Fig. 1. The profile of the soil cut out of a monolith with a spherical (concave) disk with an approach angle α and inclination angle β (e is the depth of treatment)

напряжений на стенку перегородки до образования первого элемента стружки в боковом направлении (рис. 2) [5, 14].

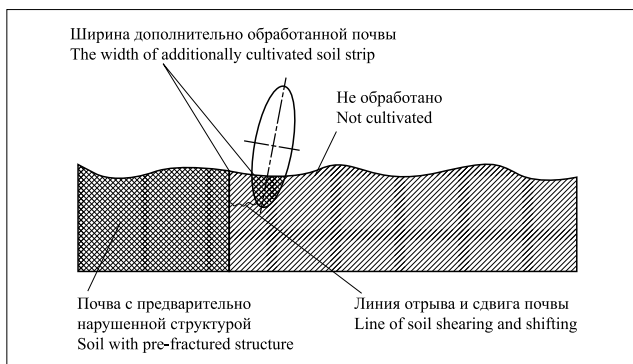


Рис. 2. Увеличение ширины обрабатываемой диском полосы за счет отрыва и сдвига между полосами вырезаемой и взрыхленной почвы

Fig. 2. An increase in the width of the strip tilled by the disk due to tearing and shearing between the strips of tilled and already cultivated soil

Таким образом, два диска, расположенных один за другим в разных рядах, обрабатывают смежные полоски почвы, при этом второй диск обрабатывает почву в свал или отваливает почву в ту же сторону, что и первый. Тогда при одинаковых параметрах

трах обоих дисков второй может обрабатывать почву большей ширины, чем первый, на величину длины одной стружки. Длина одного ее фрагмента зависит от типа и структуры почвы, ее влажности, твердости, наличия корневых остатков, режимов работы и параметров дискового орудия (глубины обработки, скорости агрегата, углов атаки и наклона диска), значения которых меняются на одном и том же поле и носят случайный характер [6, 7].

Для уточнения поправочного коэффициента планируемой ширины захвата дисков в зависимости от их расположения относительно смежных передних провели экспериментальные исследования и рекомендовали рациональное размещение рабочих органов.

Результаты и обсуждение. Дисковые бороны с индивидуальным креплением к раме рабочих органов, несмотря на малое междуследие дисков, на плотной почве оставляют необработанные полосы [8, 9]. Это результат неправильного размещения рабочих органов на раме. Ширина полосы b , обрабатываемой отдельно установленным диском, равна:

$$b = \sqrt{4e_n \sin^2 \alpha (2R \cos \beta - e_n) \cos^2 \beta}, \quad (1)$$

где e_n – агротехнически допустимая высота продольного гребня, образующегося между смежными проходами двух дисков; R – радиус диска; α – угол атаки диска; β – угол наклона диска.

На рисунке 3а показан фрагмент технологической схемы большинства фронтальных многорядных дисковых бороны с индивидуальным креплением рабочих органов и варианты взаимного расположения пар рабочих органов, обрабатывающих смежные полосы почвы (пары 1-2, 2-4, 3-4 и 1-3). Характерной их особенностью является то, что лишь в одной паре (3-4), расположенный сзади диск отрывает и сдвигает почву в сторону борозды, открытой впереди расположенным диском этой же пары. Такую пару назовем эффективной. В предлагаемой нами технологической схеме размещения рабочих органов (рис. 3б) три эффективных пары (1-4, 2-3, 1-2) и одна неэффективная – (3-4).

Результаты проведенных расчетов и экспериментальных исследований показали, что при установке дисков диаметром 560 мм на расстоянии друг от друга 400 мм в одном ряду по схеме (1-4-3-2) технологическая ширина захвата эффективных пар дисков увеличилась в среднем на 50%.

Ширина захвата эффективных пар определяется выражением:

$$b = k \sqrt{4e_n \sin^2 \alpha (2R \cos \beta - e_n) \cos^2 \beta}, \quad (2)$$

где k – коэффициент увеличения ширины обрабатываемой полосы.

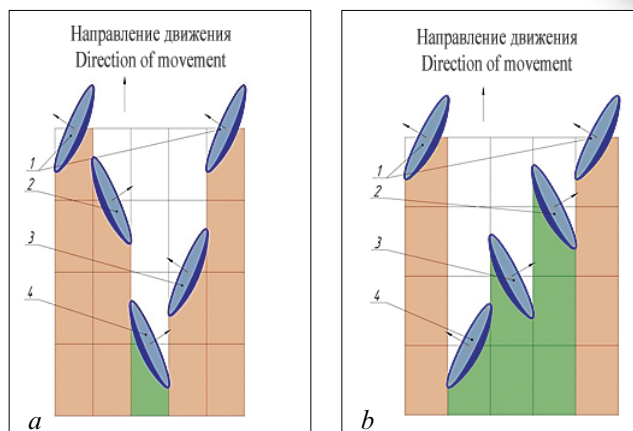


Рис. 3. Фрагменты технологических схем дисковых бороны: с углом атаки дисков, противоположным углу атаки в предыдущем ряду (а), и с обработкой почвы в результате ее деформации отрыва или сдвига (б)

Fig. 3. Fragments of the technological schemes of disk harrows: with the approaching angle, the disks opposite to the approaching angle in the previous row (a), and with the soil tillage as a result of its tear or shear deformation (b)

Ширина захвата больше, чем у обычных неэффективных пар, и зависит от почвенных условий и параметров дисков [10-12]. Если технологическая ширина b -полосы, обрабатываемой в монолите, равна 80 мм, то с учетом отрыва или сдвига в поперечную сторону пара дисков будет обрабатывать полосу шириной 100-130 мм, то есть шире на 20-50 мм. Для полного подрезания почвы по всей ширине 4-рядной дисковой бороны четырехметрового захвата достаточно 32 диска вместо 40. При их традиционном размещении полное подрезание почвенного пласта недостижимо, а при рекомендуемом – обеспечивается меньшим количеством дисков [13].

Выводы

1. При размещении рабочих органов на дисковых бороны необходимо учитывать зависимость технологической ширины обработанной полосы каждым рабочим органом от взаимного расположения пары дисков, обрабатывающих смежные полосы почвы.

2. При обработке почвы диском с перемещением ее в сторону уже обработанной смежной полосы ширина захвата диска увеличивается в 1,3-1,7 раза за счет проявления деформации отрыва и сдвига почвы.

3. Для широко распространенных 4-рядных дисковых бороны с дисками диаметром 560 мм при угле атаки 18° угле их наклона $10-11^\circ$ количество дисков можно уменьшить на 20%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Панов И.М., Ветохин В.И. Физические основы механики почв. Киев: Феникс. 2008. 266 с.
2. Сохт К.А. Прогнозирование технологических параметров дисковых почвообрабатывающих орудий на этапе их проектирования // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2011. N5. С. 28-30.
3. Жук А.Ф. Обоснование параметров двухдисковых секций борон. *Техника в сельском хозяйстве*. 2011. N4. С. 4-7.
4. Upadhyaya S.K., Pedro Andrade-Sanchez, Kenshi Sakai, William J. Chancellor, Richard J. Godwin. Chapter 3: Tillage. In *Advances in Soil Dynamics*. American Society of Agricultural and Biological Engineers. 2009. pp. 273-359.
5. Лобачевский Я.П., Эльшейх А.Х. Обоснование расстановки дисковых рабочих органов в комбинированных почвообрабатывающих агрегатах // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2009. N4. С. 22-25.
6. Синеоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение. 1977. 328 с.
7. Гуков Я.С. Обробіток ґрунту. Технологія і техніка. Київ: Тов. «ДІА». 2007. 276 с.
8. Сохт К.А. Машинные технологии возделывания зерновых культур. Краснодар: Просвещение Юг. 2001. 270 с.
9. Канарев Ф.М. Ротационные почвообрабатывающие машины и орудия. М.: Машиностроение. 1983. 144 с.
10. Жук А.Ф. Почвовлагосберегающие агроприемы, технологии и комбинированные машины. М.: Росинформагротех. 2012. 144 с.
11. Кулен А., Куиперс Х. Современная земледельческая механика. М.: Агропромиздат. 1986. 349 с.
12. Нартов П.С. Дисковые почвообрабатывающие орудия. Воронеж: Воронежский университет. 1972. 182 с.
13. Вольский В.Ф. Визначення зон раціональних значень параметрів сферично-дискового робочого органу. Екобіотехнології та біопалива в АПК. *Energia*. 2012. Київ-Люблін-Сімферополь-Львів. 2012. С. 104-105.

REFERENCES

1. Panov I. M., Vetokhin V.I. Fizicheskiye osnovy mekhaniki pochv [Physical fundamentals of soil mechanics] Kiiv: Feniks. 2008: 266. (In Russian)
2. Sokht K.A. Prognozirovaniye tekhnologicheskikh parametrov diskovykh pochvoobrabatyvayushchikh orudiy na etape ikh proyektirovaniya [Forecasting the technological parameters of disk tillage tools at the stage of their designing] // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2011. 5: 28-30. (In Russian)
3. Zhuk A.F. Obosnovaniye parametrov dvukhdiskovykh sektsiy boron [Determination of the parameters of two-disk sections of harrows]. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 2011: 4. 4-7. (In Russian)
4. Upadhyaya S.K., Andrade-Sanchez P., Sakai K., Chancellor W.J., Godwin R.J. Chapter 3: Tillage. In *Advances in Soil Dynamics*. American Society of Agricultural and Biological Engineers. 2009. 273-359. (In English)
5. Lobachevskiy Ya.P., El'sheykh A.Kh. Obosnovaniye rasstanovki diskovykh rabochikh organov v kombinirovannykh pochvoobrabatyvayushchikh agregatakh [Determining the arrangement of disk working elements in combined soil-cultivating units] // *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2009. N4: 22-25. (In Russian)
6. Sineokov G.N., Panov I.M. Teoriya i raschet pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Theory and calculation of the parameters of soil-cultivating machines]. М.: Mashinostroyeniye. 1977. 328. (In Russian)
7. Gukov Ya.S. Obrobitok gruntu. Tekhnologiya i tekhnika [Soil removing. Technologies and machinery]. Kiiv: Tov. "DIA". 2007: 276.
8. Sokht K.A. Mashinnyye tekhnologii vzdelyvaniya zernovykh kul'tur [Mechanized technologies of cultivating grain crops]. Krasnodar: Prosveshcheniye Yug. 2001. 270. (In Russian)
9. Kanarev F.M. Rotatsionnyye pochvoobrabatyvayushchiye mashiny i orudiya [Soil tillage rotary implements and tools]. М.: Mashinostroyeniye. 1983. 144. (In Russian)
10. Zhuk A.F. Pochvovlagosberegayushchie agropriyemy, tekhnologii i kombinirovannye mashiny [Soil-and-moisture-saving farm practices, technologies and combinations]. М.: Rosinformagrotekh. 2012. 144. (In Russian)
11. Kulen A., Kuipers Kh. Sovremennaya zemledel'cheskaya mekhanika [Modern agricultural mechanics]. М.: Agropromizdat, 1986. 349. (In Russian)
12. Nartov P.S. Diskovyye pochvoobrabatyvayushchiye orudiya [Soil tillage disk tools]. Voronezh: Voronezhskiy universitet. 1972. 182. (In Russian)
13. Vol'skiy V.F. Vznachennya zon ratsional'nikh znachen' parametriv sferichno-diskovogo robochogo organu [Determining the zones of rational values of parameters of a spherical-disk robotic tool]. *Ekobiotekhnologii ta biopaliva v APK. Energia*. 2012. Kiiv-Lyublin-Simferopol'-L'viv. 2012. 104-105. (In Russian)

Статья поступила в редакцию 21.05.2018
The paper was submitted
to the Editorial Office on 21.05.2018

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья принята к публикации 27.08.2018
The paper was accepted
for publication on 27.08.2018

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.



АГРОИНЖЕНЕРНЫЙ СОЮЗ

**28 марта 2018 года Министерство юстиции России
зарегистрировало новое объединение предприятий, организаций и граждан –
Союз участников агропромышленного комплекса «Агроинженерный союз»**

Союз создан Федеральным государственным научным учреждением «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (ФНАЦ ВИМ) с целью консолидации усилий и деятельности инженеров, конструкторов, ученых, научно-исследовательских институтов, научных центров, университетов, конструкторских бюро, сельскохозяйственных организаций и предприятий сельхозмашиностроения по дальнейшему развитию агропромышленного комплекса России.

Агроинженерный союз является некоммерческой организацией, представляет и защищает интересы российских сельскохозяйственных товаропроизводителей, разработчиков и производителей сельскохозяйственной техники, представителей аграрной науки и образования.

Основные направления деятельности Союза:

- Защита и продвижение интересов агроинженерного сообщества в законодательных и исполнительных органах государственной власти, органах местного самоуправления, в профсоюзных и иных общественных объединениях, в иностранных государствах и их учреждениях.
- Использование и продвижение результатов фундаментальных и прикладных научных исследований в области механизации, автоматизации и роботизации сельского хозяйства, энергетического обеспечения сельского хозяйства, технического сервиса и надежности сельскохозяйственной техники.
- Внедрение новейших технологий, современной сельскохозяйственной техники и оборудования в сельскохозяйственное производство.
- Развитие сотрудничества с международными аграрными структурами, исследовательскими центрами, университетами, общественными организациями.
- Консультационная помощь сельхозтоваропроизводителям в выборе и использовании передовых технологий, машин и оборудования.
- Сотрудничество с предприятиями сельскохозяйственного машиностроения, организация совместных разработок, изготовления и продвижения образцов техники и оборудования.
- Развитие материально-технической базы для реализации образовательных программ магистратуры и аспирантуры, повышения квалификации, организация обучения технического и конструкторского персонала.

- Проведение научно-технических конференций, симпозиумов, конгрессов, семинаров, выставок.

- Пропаганда новейших достижений науки и практики в области агротехнологий, автоматизации и роботизации сельского хозяйства, конструкций сельскохозяйственных машин.

- Создание условий для форсированного наращивания промышленного, научного и интеллектуального потенциала агропромышленного комплекса Российской Федерации.

- Развитие сельхозмашиностроения на основе внедрения новаций, высокоэффективных технологий и материалов.

- Создание благоприятных условий в Российской Федерации для развития агроинженерного дела, изобретательства, рационализаторства.

- Содействие в совершенствовании законодательной основы с целью защиты интеллектуальной собственности изобретателей и разработчиков инновационной сельскохозяйственной техники, защиты отечественного рынка сельскохозяйственной техники и оборудования.

Агроинженерный союз приглашает к сотрудничеству физических и юридических лиц, заинтересованных в дальнейшем развитии и укреплении отечественного АПК, сельхозмашиностроения, аграрной науки и образования.

Президент Агроинженерного союза –
Измайлов Андрей Юрьевич, академик РАН,
член Президиума РАН, директор ФНАЦ ВИМ.

Исполнительный директор –
Федоренко Вячеслав Филиппович, академик РАН,
директор ФГБНУ «Росинформагротех».

Союз зарегистрирован по адресу:
109428, Москва, 1-й Институтский проезд, 5.

Контакты пресс-службы:
тел.: 8 (985) 970-93-12, (495) 993-55-83; 8 (499) 171-43-49
электронная почта: vim@vim.ru.

ПОДПИСКА 2019

**КАК
подписаться
на журнал?**



ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

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

ЖУРНАЛ

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

Редакция журнала:

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

www.vimsmit.com

e-mail: smit@vim.ru