

Сельскохозяйственные МАШИНЫ и ТЕХНОЛОГИИ

AGRICULTURAL MACHINERY AND TECHNOLOGIES

Том 14 N3 2020

Vol. 14 N3 2020

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

SCIENTIFIC-THEORETICAL JOURNAL

**КРИТЕРИИ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ
БЕЗОПАСНОСТИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**
**CRITERIA FOR ENERGY EFFICIENCY AND ECONOMIC SECURITY
IN AGRICULTURAL TECHNOLOGIES**

**БИОТЕХНИЧЕСКИЕ И РОБОТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ
В ЖИВОТНОВОДСТВЕ**
BIOTECHNOLOGY AND ROBOTIC SYSTEMS IN ANIMAL HUSBANDRY





Сельскохозяйственные МАШИНЫ И ТЕХНОЛОГИИ

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

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

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

Журнал включен
в Российский индекс
научного цитирования (РИНЦ)

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

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

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

Перевод – Александра Чепелева

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

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

© ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2020

Отпечатано в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ
Формат 205 x 290 мм
Подписано в печать 20.09.2020
Тираж 500 экз.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Андрей Юрьевич Измайлов

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Виктор Валентинович Альт

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

Христо Иванов Белоев

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

Михаил Никитьевич Ерохин

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

Юрий Анатольевич Иванов

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

Йошисукэ Кишида

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

Юрий Федорович Лачуга

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

Яков Петрович Лобачевский (ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА)

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

Антонин Махалек

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

Тадеуш Павловски

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

Владимир Дмитриевич Попов

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

Жарылкасын Сарсембекович Садыков

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

Дмитрий Семенович Стребков

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

Юлия Сергеевна Ценч

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

Вячеслав Иванович Черноиванов

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

SCIENTIFIC-THEORETICAL
JOURNAL

The journal is registered by
Federal Agency for Supervision of
Legislation Observance of Mass
Communications Sphere and
Cultural Heritage Protection
Certificate ПИ No. ФС77-68608
from February, 3, 2017

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

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

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

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

EXECUTIVE EDITORS:

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

EDITORIAL OFFICE'S ADDRESS

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

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

Printed by FSAC VIM

Russian Academy of Science

The format is 205 × 290 mm

The issue was submitted 20.09.2020

The circulation is 500 copies

[SEL'SKOKHOZYAYSTVENNYE MASHINY I TEKHNOLOGII]

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

EDITOR-IN-CHIEF

Andrey Yu. Izmaylov

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

EDITORIAL BOARD

Viktor V. Al't

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

Khristo I. Beloev

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

Mikhail N. Erokhin

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

Yuriy A. Ivanov

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

Yoshisuke Kishida

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

Yuriy F. Lachuga

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

Yakov P. Lobachevskiy (DEPUTY EDITOR)

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

Antonin Makhalek

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

Tadeush Pavlovsky

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

Vladimir D. Popov

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

Zharylkasyn S. Sadykov

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

Dmitriy S. Strebkov

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

Yulia S. Tsench

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

Vyacheslav I. Chernovanov

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

**ЭКОЛОГИЯ**

- Сойнинен Х., Ранта-Корхонен Т., Тимофеев Е.В., Эрк А.Ф.**
Критерии энергоаудита сельскохозяйственных предприятий: новые подходы и оценки 4

- Лавров А.В., Шевцов В.Г., Русанов А.В., Казакова В.А.**
Согласование тягово-сцепных качеств движителей сельскохозяйственных мобильных энергетических средств с допустимым максимальным давлением на почву 9

ТЕХНИКА ДЛЯ РАСТЕНИЕВОДСТВА

- Норчаев Р.Н., Норчаев Д.Р., Чоршанбиев Р.Х.**
Обоснование параметров решетчатого рыхлителя копателя моркови в условиях Республики Узбекистан. 15

МЕХАНИЗАЦИЯ ЖИВОТНОВОДСТВА

- Ружин С.С., Владимиров Ф.Е., Юрочка С.С., Довгерд Г.А.**
Обоснование технологических схем и параметров роботизированных доильных залов 20

- Кирсанов В.В., Цой Ю.А.**
Тенденции развития биотехнических систем в животноводстве. 27

- Павкин Д.Ю., Никитин Е.А., Зобов В.А.**
Система роботизированного обслуживания кормового стола на животноводческих комплексах 33

- Коршунов А.Б.**
Влияние энергосберегающих систем с использованием природного холода на энергоёмкость процесса охлаждения молока. 39

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

- Ростовцев Р.А., Черников В.Г., Ущуповский И.В., Попов Р.А.**
Основные проблемы научного обеспечения льноводства 45

ТЕХНИКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

- Лискин И.В., Миронова А.В.**
Обоснование искусственной почвенной среды для лабораторных исследований износа и тяговых характеристик почворезущих рабочих органов 53

- Епифанцев В.В., Осипов Я.А., Вайтехович Ю.А.**
Сошники для выращивания экологически безопасной сои 59

СЕЛЕКЦИЯ И СЕМЕНОВОДСТВО

- Давыдова С.А., Чаплыгин М.Е.**
Техническая оснащённость селекции и семеноводстве кукурузы. 66

ECOLOGY

- Soininen H., Ranta-Korhonen T., Timofeev E.V., Erk A.V.**
Energy audit criteria of agricultural enterprises: new approaches and assessment 4

- Lavrov A.V., Shevtsov V.G., Rusanov A.V., Kazakova V.A.**
Matching the traction qualities of agricultural mobile power vehicles with the permissible maximum pressure on the soil 9

MACHINERY FOR PLANT GROWING

- Norchaev R.N., Norchaev D.R., Chorshanbiev R.Kh.**
Substantiation of the lattice ripper parameters of the carrot digger in conditions of the Republic of Uzbekistan. 15

MECHANIZATION OF ANIMAL INDUSTRY

- Ruzin S.S., Vladimirov F.E., Yurochka S.S., Dovgerg G.A.**
Justification of technological schemes and parameters of robotic milking parlors 20

- Kirsanov V.V., Tsoy Yu.A.**
Trends in the development of biotechnical systems in animal husbandry. 27

- Pavkin D.Yu., Nikitin E.A., Zobov V.A.**
Robotic system for maintenance of feed table for live-stock complexes 33

- Korshunov A.B.**
Influence of energy-saving systems using natural cold on the energy intensity of the milk cooling process. 39

NEW MACHINERY AND TECHNOLOGIES

- Rostovtsev R.A., Chernikov V.G., Ushchapovsky I.V., Popov R.A.**
The main problems of scientific support of flax growing 45

MACHINERY FOR SOIL CULTIVATION

- Liskin I.V., Mironova A.V.**
Artificial soil environment justification for laboratory studies of wear and traction characteristics of soil-cutting working bodies 53

- Epifantsev V.V., Osipov Ya.A., Vaytekovich Yu.A.**
Plowshares for growing ecologically safe soybeans 59

PLANT BREEDING AND SEED PRODUCTION

- Davydova S.A., Chaplygin M.E.**
Technical equipment of corn breeding and seed production 66

Energy Audit of Agricultural Enterprises: New Approaches and Assessment Criteria (Following the Russian-Finnish Project Interim Outcomes)

Hanne Soininen¹,
Dr.Sc.(Eng.);
Tuija Ranta-Korhonen¹,
MSc;

Evgeniy V. Timofeev²,
Ph.D.(Eng.), timofeev_ev84@mail.ru;
Andrey F. Erk²,
Ph.D.(Eng.);

¹South-Eastern Finland University of Applied Sciences (Xamk), Mikkeli, Finland;

²Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Saint Petersburg, Russian Federation

Abstract. Currently implemented project “Russian-Finnish Bioeconomy Competence Centre – BioCom” within South-East Finland – Russia Cross-Border Cooperation Programme 2014-2020 aims to integrate the BioEconomy principles and approaches into the agricultural sector of the neighbouring border areas of Russia and Finland. The energy efficiency of farming and sustainable use of energy resources is one of the fundamentals of the bio-economy concept. The energy audit is the first step in identifying opportunities to reduce the energy inputs on the farms. (*Research purpose*) To discover the new approaches to the energy auditing of agricultural enterprises and new assessment indicators following the project experience. (*Materials and methods*) Four farms were selected for the energy inspection – two farms located in the Leningrad Region, Russia, and two farms located in the South Savo Region, Finland. In Russia the standard energy auditing, measurement, and calculation procedure was applied. The systems of electrical power supply, heat supply, water supply, sewage, and building envelopes on the farms were examined and estimated. (*Results and discussion*) Following the outcomes of the energy audits in the project framework and the previous relevant experience, the basic energy-saving and efficiency improvement measures were established. Three new approaches to the energy auditing of agricultural enterprises were suggested – energy and environmental assessment of applied technologies and equipment; consideration of the application of renewable energy-generating sources; consideration of the conversion of vehicles to biogas. (*Conclusions*) The study outcomes proved the energy audits to play an important role in improving the energy efficiency of agricultural production provided they are mandatory, take into account the energy environmental assessment criteria, consider the application of renewable energy-generating sources and the conversion of vehicles to biogas.

Keywords: energy survey, energy saving, energy efficiency, energy and environmental assessment, renewable energy sources.

For citation: Soininen H., Ranta-Korhonen T., Timofeev E.V., Erk A.V. Energy audit of agricultural enterprises: new approaches and assessment criteria (following the Russian-Finnish project interim outcomes). *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N3. 4-8 (In English). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-3-4-8.

Критерии энергоаудита сельскохозяйственных предприятий: новые подходы и оценки (по промежуточным результатам российско-финляндского проекта)

Ханне Сойнинен¹,
доктор технических наук;
Туйя Ранта-Корхонен¹,
магистр;

Евгений Всеволодович Тимофеев²,
кандидат технических наук,
e-mail: timofeev_ev84@mail.ru;
Андрей Федорович Эрк²,
кандидат технических наук

¹Университет прикладных наук юго-восточной Финляндии, г. Миккели, Финляндия;

²Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Реферат. Реализуемый в настоящее время проект «Российско-финляндский центр компетенции в области биоэкономики – BioCom» в рамках Программы приграничного сотрудничества Юго-Восточной Финляндии и России на 2014-2020 годы направлен на интеграцию принципов и подходов биоэкономики в сельскохозяйственный сектор соседних приграничных районов России и Финляндии. Подтвердили, что энергоэффективность сельского хозяйства и устойчивое использование энергоресурсов составляют одну из основ концепции биоэкономики. Показали необходимость проведения энергоаудита при



определении возможностей для снижения энергозатрат в сельском хозяйстве. (*Цель исследования*) Выявить новые подходы к энергоаудиту сельхозпредприятий и показатели оценки на основе опыта реализации проекта. (*Материалы и методы*) Для энергетического обследования выбрали четыре хозяйства – два в Ленинградской области, Россия, и два в регионе Южное Саво, Финляндия. В России применяли стандартную процедуру энергоаудита, измерений и расчетов. Обследовали и оценили системы электро-, тепло-, водоснабжения, канализации и ограждающих конструкций. (*Результаты и обсуждение*). По результатам энергетических аудитов в рамках проекта и предыдущего соответствующего опыта установили основные меры по энергосбережению и повышению энергоэффективности. Предложили три новых подхода к энергоаудиту сельскохозяйственных предприятий: энергоэкологическую оценку применяемых технологий и оборудования; рассмотрение вопроса об использовании возобновляемых источников энергии; изучение возможности перевода транспорта на биогаз. (*Выводы*) Подтвердили необходимость энергоаудита в целях повышения энергоэффективности сельскохозяйственного производства. Показали, что энергетические обследования должны учитывать критерии энергоэкологической оценки, возможность применения возобновляемых источников энергии и перевода транспортных средств на биогаз.

Ключевые слова: энергетическое обследование, энергосбережение, энергоэффективность, энергетическая и экологическая оценка, возобновляемые источники энергии.

■ **Для цитирования:** Сойнинен Х., Ранта-Корхонен Т., Тимофеев Е.В., Эрк А.Ф. Критерии энергоаудита сельскохозяйственных предприятий: новые подходы и оценки (по промежуточным результатам российско-финляндского проекта) // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №3. 4-8. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-3-4-8.

The current international project “Russian-Finnish Bioeconomy Competence Centre – BioCom” within South-East Finland – Russia Cross-Border Cooperation Programme 2014-2020 aims to integrate the BioEconomy principles and approaches into the agricultural sector of the neighbouring border areas of Russia and Finland. The energy efficiency of farming and sustainable use of energy resources is one of the fundamentals of the bio-economy concept.

The expected project outputs include:

- a sustainable educational platform (Competence Centre) in the field of bioeconomy [1];
- a set of educational programmes, training materials and demonstration equipment for promoting the agricultural application of renewable energy sources;
- a uniform system of indicators for the energy audit of agricultural enterprises in Russia and Finland;
- recommendations on the creation of Demo Zones of High Energy Efficiency in agricultural production in the pilot border areas based on results achieved [2];
- recommendations on agricultural application of renewable energy sources and energy-efficient practices based on results achieved [2, 3].

The energy audit is the first step in identifying opportunities to reduce the energy inputs on the farms. Its main objectives are to acquire the objective evidence on the energy volume consumed; to identify the energy efficiency indicators and to reveal the causes for irrational energy use; to determine the energy-saving potential; to suggest the measures to improve the farm energy efficiency with their costs and pay-back periods and to provide relevant recommendations [3].

RESEARCH PURPOSE is to identify the new approaches to the energy auditing of agricultural enterprises and assessment indicators with due account for the project implementation experience.

MATERIALS AND METHODS. According to the project Work Plan, four farms were selected for the energy

inspection – two farms located in the Leningrad Region, Russia, and two other located in the South Savo region, Finland.

The Russian farms specialized in dairy production and grain crops growing (a large-scale farm) and apiculture and poultry farming (small-scale private farm). The Finnish farms specialized in chicken egg and beef production.

The Finnish partner created preliminary energy calculation models for both farms and identified the basic data required for the calculations. A previously designed digital tool could be applied to examine the energy use on the farms in more detail and to reveal the most energy-consuming processes.

The Russian partner followed the standard energy auditing, measurement, and calculation procedure. The systems of electrical power supply, heat supply, water supply, sewage, and building envelopes were examined and estimated.

As far as the electrical power supply system was concerned, the energy inspection included the following actions [4-8]:

- survey and qualitative assessment of the structure of external electricity supply at the voltage level of 0.4 kV, the technical condition of distribution networks and metering systems, reliability level of external and internal electricity supply;
- recording of electrical current and voltage on the incoming and outgoing lines using stationary devices installed in the main switchboard (ammeters, voltmeters, full adders) [4, 5];
- measurement of actual power values (active and reactive) by phases for the most typical (or energy-intensive) electric drives with the use of portable measuring systems;
- technical evaluation of external and internal lighting system (lamp type, quantity, and wattage) and determination of the actual values of the natural illumination coefficient [5];
- cause identification of the inefficient use of electricity;

- thermal imaging control of electrical equipment.

For the heat supply system, the energy inspection included checking the availability and condition of metering devices and automation systems, control valves and instrumentation (pressure gauges, thermometers, temperature, and pressure sensors); and determining the actual heat loss through thermal insulation of pipelines.

The technical condition of the water supply and sewage system was examined and estimated; the water and wastewater management system was assessed.

The building envelopes survey included the infrared thermography and the results processing.

RESULTS AND DISCUSSION. Following the outcomes of energy audits in the project framework and previous relevant experience, the basic energy-saving and efficiency improvement measures were established. Conventionally, they may be classified as managerial, economic, technical, and special energy-related ones.

Managerial measures include the relevant training of personnel; regular buildings and equipment inspections, infrared thermography and energy audits, testing of energy metering instruments, and maintenance activities in compliance with the energy efficiency requirements. The important economic measure is motivation and incentives and related managerial decision-making. These measures require minimal human, financial, technical and other resources. The energy conservation and payback period are difficult to define by the direct method. However, they are important in improving the energy efficiency of agricultural production.

Technical measures aim to replace the operating, outdated equipment with an energy-saving one, belonging to a higher energy efficiency class, resulting in lower energy intensity of agricultural production. The most required technical measures were found to be the lighting system upgrading; the automated control of electric drives; the economical water heaters, and local electric heaters.

The use of LEDs instead of the present incandescent lamps is the most promising way to save energy. The lighting system upgrading includes the introduction of automated control systems inside the cattle houses, street lighting, etc. Their payback period ranges from 1.1 to 2.0 years. The frequency-controlled electric drive is found to be the most effective energy- and resource-saving and environmentally friendly technology. It is installed in water supply systems, ventilation and inside climate systems, in vacuum pumps of milking units, and various conveyors. The payback period of such drive is from 0.5 to 2.0 years [9].

Examples of energy-efficient equipment are well and vacuum pumps with control systems; energy-saving water heaters for the technological needs of livestock farms; water treatment systems; local infrared heating of young animals and auxiliary facilities; heating of rooms for drying clothes and shoes of farmworkers with a water and solid-state off-peak electrical energy storage device. The payback period of such equipment ranges from 1.4 to 5.5 years [10].

The measures aimed at thermal energy-saving are also

required, especially in winter, though the thermal energy consumption in agricultural production is only 3% of the total fuel and energy inputs. The payback period of such measures ranges from 0.8 to 4.0 years [9, 10].

Satellite monitoring of vehicles (tractors and cars) comes into common use in agriculture. The estimated payback period for the implementation of this equipment due to the saving of motor fuel is 0.8-3.9 years [9, 11].

Special energy-related measures provide for involving the secondary energy resources and local and renewable energy sources in the energy balance of agricultural enterprises. To optimize the structure of energy flows in an agricultural enterprise means to find such a combination of energy sources when the specific energy consumption reaches its minimum.

Many livestock farms use heat exchangers in milking parlours by utilizing the heat released by animals. Air-to-air and water-to-air heat pumps are increasingly frequently used in livestock houses. However, the payback of such systems is rather long – from 7 to 9 years.

Wood and plant waste, other local fuels, gas-driven and wind-driven generators are used instead of traditional energy resources. The payback period of wind turbines when used for water lifting and heating is 4.7 years.

Solar energy is used mainly in two ways – as thermal energy by applying various thermal systems or through photochemical reactions. The widest solar energy application is to heat the water or premises. The low-temperature energy is sufficient for these purposes. Solar collectors can be used in agriculture to heat the water for technological needs in animal husbandry, to heat the soil and water in greenhouses, to heat the water in workshops, garages, etc. The payback period of such systems is 6.5 years. Photovoltaic systems (solar panels) are a durable and environmentally friendly practice of solar energy converting.

A new approach to the energy auditing of agricultural enterprises is the use of energy and environmental assessment of applied technologies and equipment.

The energy assessment includes the analysis of energy supply and energy consumption systems. The electricity and heat generation by the autonomous local sources involves the atmospheric emissions of pollutants in rural areas. These emissions can be minimized by selecting a proper generation source.

When considering the energy supply systems the energy-ecological criterion K_{EE} is calculated, which takes into account both economic and environmental indicators:

$$K_{EE} = (C_{inv} + C_{gen}) \cdot \sum \{M_{pol} \cdot K_{HE}\} \cdot Q, \quad (1)$$

where C_{inv} – unit cost of construction investments, thousand roubles/kW.h;

C_{gen} – energy generation cost, thousand roubles/kW.h;

M_{pol} – the mass of pollutants emitted during the energy generation; g/kW.h;

K_{HE} – harmful effect factor;

Q – the generated energy, kW.h.



When considering the energy consumption systems the energy efficiency criterion KEF is calculated to estimate the energy efficiency of technologies and equipment. It is determined as a ratio of the total fuel and energy consumed to the production volume:

$$K_{EF} = (\Sigma S \cdot K_{util} \cdot CF_1 + \Sigma Q \cdot K_{utilHE} \cdot CF_2 + \Sigma P_{fuel} \cdot CF_3) / V, \quad (2)$$

where S – electrical energy consumption, kW·h;
 K_{util} – annual equipment utilisation rate, h;
 CF_1 – conversion factor of kW·h to tons of reference fuel;
 Q – heat energy consumed, kcal;
 K_{utilHE} – annual heating equipment utilisation rate, h;
 CF_2 – conversion factor of kcal to tons of reference fuel;
 P_{fuel} – motor fuel consumption, t;
 CF_3 – conversion factor of tons to tons of reference fuel;
 V – production volume, t.

When examining the energy supply systems both traditional and renewable energy sources were considered. When examining the energy consumption systems both external generation sources (e.g. boiler houses of various types designed for heating) and internal generation sources (e.g. a drying unit can be equipped with a generator working of liquid fuel or alternative fuel) were considered.

One more new part suggested in the energy audits of agricultural enterprises is associated with recommendations on the selection of energy generation sources.

Modern agricultural enterprises have many small power consumers: livestock houses, offices, post-harvest crop treatment facilities, warehouses, storages, etc. They are located at different distances from power supply sources. Low-power transformers provide the centralized power supply via long-distance overhead power lines. Electrical energy demand is irregular throughout the day; the quality of electricity is low; there are big energy losses in the networks (Fig. 1, 2).

Recently, the issue of decentralized (autonomous) energy supply for some consuming objects in rural areas has been considered with ever-increasing frequency. Various low-power generators can provide the decentralized energy supply using local and renewable energy sources.

The use of renewable energy sources, including solar radiation, makes it possible to solve energy problems of remote power consumers such as poultry and sheep houses, buildings for small-scale production, premises for fishing cooperatives, and others. There are many such consumers in the agricultural sector in the Leningrad region.

Generating facilities can be both traditional (diesel generators, gas-piston power plants) and using renewable energy sources (wind turbines, solar stations, micro-hydroelectric power stations). The main reason for using renewable energy sources may be lower inputs of primary fuel, i.e. the economic effect. However, replacing the traditional energy with renewable energy will have a

positive effect on the environmental indicators as well.

The generating sources may be selected by both economic and environmental criteria. The economic criterion is the cost of one kW·h of both electric and thermal energy. The environmental criterion is the total specific emissions of pollutants in the process of energy generation at local generating sources (grams of pollutant per kW·h).

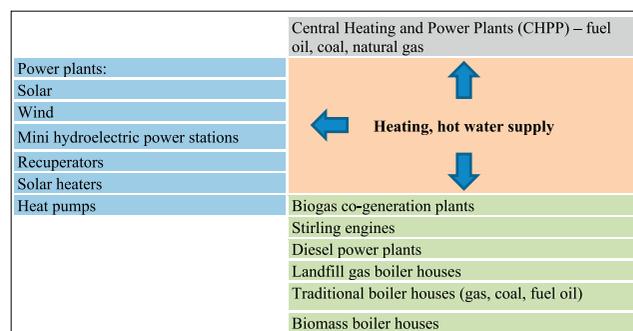


Fig. 1. Energy supply pattern for heating and hot water supply

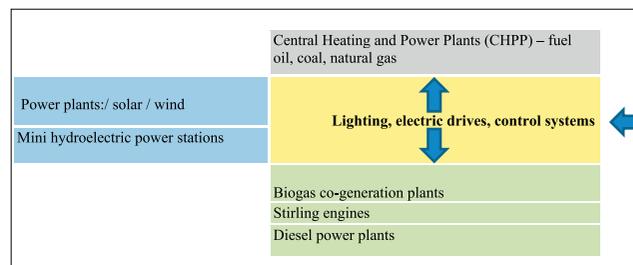


Fig. 2. Energy supply pattern for lighting, electric drives and control systems

A single criterion for the selection of energy-generating sources is defined as the product of the kW·h cost of energy generated and the specific pollutant emissions. This criterion may be called the “factor of energy and environmental friendliness (compliance)”. The desired value of this factor when choosing a power-generating source is the smallest (Table).

The third new issue suggested for the energy audits is the evaluation of the feasibility of conversion of vehicles to biogas.

Currently, this issue is becoming relevant for both economic and environmental reasons. Therefore, during the energy surveys, it is reasonable:

- to examine the machine and tractor fleet: vehicle type, mileage, fuel consumption, etc.;
- to estimate the overall fuel inputs on the farm;
- to calculate the feasibility of converting vehicles to gas by the energy and economic evaluation criteria;
- to estimate the quantity and quality of organic waste on the farm, which could be processed to generate the biogas;
- to justify the use of biogas as a motor fuel;
- to justify the introduction of a closed cycle on the farm: animals and plants – organic waste – biogas – vehicles – animals and plants.

Таблица							Table
SPECIFIC EMISSIONS OF POLLUTANTS IN THE PROCESS OF ELECTRIC AND THERMAL ENERGY GENERATION AT LOCAL GENERATING ENERGY SOURCES, g/kW.h							
Emission source: boiler-houses	Carbon dioxide CO ₂	Carbon monoxide CO	Dust	Sulfur oxides SO ₂	Nitrogen oxides NO ₂	Hydrogen sulfide H ₂ S	Total
Diesel	6.8	0.3-0.6	0.04	8.0-10.5	1.8-3.2	0.05	19.1
Coal	9-10	0.3-1.0	0.4-1.4	6.0-12.5	3.0-7.5	6.0-9.0	37.4
Fuel oil	5.4	0.1-0.5	0.2-0.7	4.2-7.5	2.4-3.0	2.5-5.4	20.2
Wood	2.3	0.2-0.8	0.3-0.8	–	0.07	–	2.9
Pellets	1.9	0.1-0.6	0.2-0.6	–	0.5	–	3.2
Wood chips	1.3	0.1-0.5	0.5-1.3	–	0.2-1.3	–	3.4
Biogas	3.2	–	–	–	2.0-2.7	0.06	5.6
Natural gas	1.29	–	0.05	0.02	1.9-2.4	–	3.6

- to forecast the use of biogas as a motor fuel and the construction of a biogas plant both on the farm and for the joint use of several farms.

CONCLUSIONS. The interim results of the current international project “Russian-Finnish Bioeconomy Competence Centre – BioCom” within South-East Finland – Russia Cross-Border Cooperation Programme 2014-2020 and the previous experience in energy auditing of agricultural enterprises proved the energy audits to be an important step in improving the energy efficiency of agricultural production. However, to fulfil their mission they have to be mandatory and result in the elaboration of energy-

saving measures and recommendations. Three new approaches to the energy auditing of agricultural enterprises were suggested: energy and environmental assessment of applied technologies and equipment; consideration of the application of renewable energy-generating sources; consideration of the conversion of vehicles to biogas.

Acknowledgements. The research was supported by the international project “Russian-Finnish Bioeconomy Competence Centre – BioCom” within South-East Finland – Russia Cross-Border Cooperation Programme 2014-2020 (grant contract 1804138-KSI675).

REFERENCES

1. Erk A.F., Timofeev E.V., Smirnova L.Y., Subbotin I.A., Razmuk V.A., Ranta-Korhonen T. Analiz predposylok razvitiya bioekonomiki v sel'skom khozyaistve [The background for development of bioeconomics in agriculture]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2019. N3(100). 203-211 (In Russian).
2. Erk A.F., Dulenkova E.A., Sudachenko V.N. Metodika obucheniya energosberezheniyu v APK [Methods of energy saving training in agriculture]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2016. N89. 5-12 (In Russian).
3. Sudachenko V.N., Erk A.F., Timofeev E.V. Metody energosberezheniya i povysheniya energoeffektivnosti predpriyatii v usloviyakh Severo-Zapada RF [Methods of energy saving and energy efficiency improvement for livestock farms in the North-West of Russia] *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2017. N91. 5-14 (In Russian).
4. Lemponen J., Seppäläinen S., Soininen H., Föhr J., Ranta T. The Occupational Health Effects of Torrefied Biocoal Pellets. 25th European Biomass Conference and Exhibition. 2017. 1798-1800 (In English).
5. Shurpali N.J. Perennial Energy Crops on Drained Peatlands in Finland. In: Varjani S., Parameswaran B., Kumar S., Khare S. (eds). *Biosynthetic Technology and Environmental Challenges. Energy, Environment, and Sustainability*. Singapore: Springer. 2018. 233-241 (In English).
6. Peura P., Haapanen A., Reini K., Törmä H. Regional impacts of sustainable energy in western Finland. *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 187. 85-97 (In English).
7. Aslani A., Helo P., Naaranoja M. Role of renewable energy policies in energy dependency in Finland: System dynamics approach. *Applied Energy*. 2014. Vol. 113. 758-765 (In English).
8. Manrique Delgado B., Cao S., Hasan A., Sirén K. Thermoeconomic analysis of heat and electricity prosumers in residential zero-energy buildings in Finland. *Energy*. 2017. Vol. 130. 544-559 (In English).
9. Child M., Haukkala T., Breyer C. The Role of Solar Photovoltaics and Energy Storage Solutions in a 100% Renewable Energy System for Finland in 2050. *Sustainability*. 2017. Vol. 9. N8. 1358 (In English).
10. Lund P.D. The link between political decision-making and energy options: Assessing future role of renewable energy and energy efficiency in Finland. *Energy*. 2007. Vol. 32. Issue 12. 2271-2281 (In English).
11. Carreiro A.M., Jorge H.M., Antunes C.H. Energy management systems aggregators: A literature survey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 73. 1160-1172 (In English).

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

The paper was submitted to the Editorial Office on 09.07.2020

The paper was accepted for publication on 03.08.2020



Matching the Traction Qualities of Agricultural Mobile Power Vehicles with the Permissible Maximum Pressure on the Soil

Aleksandr V. Lavrov,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: vimlavrov@mail.ru;
Vladimir G. Shevtsov,
Ph.D.(Eng.), leading specialist;

Aleksandr V. Rusanov,
chief specialist;
Vera A. Kazakova,
junior researcher

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. Modern highly mechanized agricultural production is characterized by the incompatibility of simultaneous matching of the maximum pressure of agricultural mobile equipment movers on the soil and the possibility of increasing the tractors energy saturation when equipping them with existing wheel engines. (*Research purpose*) To coordinate the maximum pressure on the soil with the permissible norms, weight utilization factors and the level of tractors energy saturation. (*Materials and methods*) The authors used a calculated method for determining the maximum pressure on the soil using a universal tire characteristic. (*Results and discussion*) The authors found that when performing spring works on closing moisture and sowing row crops at a maximum pressure of 80 kilopascals, corresponding to all types of soil, the most mass universal row tractor Belarus 1020 had a maximum pressure of 150 kilopascals, which was 70 kilopascals higher than the permissible one for the corresponding crop shortage. They found that replacing ordinary tires with agrophilic tires could increase the area of the contact spot by 16 percent, while reducing the coefficient of unevenness and increasing the coefficient of use of the adhesion weight. The main condition for replacing ordinary tires with agrophilic tires was to keep the traction force unchanged. (*Conclusions*) Summarizing the results of the research as agrophilic direction, ensuring the compliance impacts on soil and positively solving the problems of saturation, it is possible to recommend the development of navigation systems in achieving utilization hitch weight equal to 0.5 (low tire pressure), equal to 0.6 (rubber joint with torsion bar suspension) and 0.7 (rubber track). It was found that the conducted research, taking into account the available data on traction tests of the T-250 tractor, would allow to include an agrophilic concept with a hypothetical dependence of the adhesion weight use factor on the longitudinal unevenness coefficient in the revised State Standard 27021-86 "Agricultural and forestry Tractors. Traction classes".

Keywords: power tool, coupling weight, agrophilic tire, ordinary tire, maximum pressure on the soil, longitudinal unevenness, traction force.

For citation: Lavrov A.V., Shevtsov V.G., Rusanov A.V., Kazakova V.A. Soglasovaniye tyagovo-stsepykh kachestv dvizhiteley sel'skokhozyaystvennykh mobil'nykh energeticheskikh sredstv s dopustimym maksimal'nym davleniyem na pochvu [Matching the traction qualities of agricultural mobile power vehicles with the permissible maximum pressure on the soil]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N3. 9-14 (In English). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-3-9-14.

Согласование тягово-цепных качеств двигателей сельскохозяйственных мобильных энергетических средств с допустимым максимальным давлением на почву

Александр Владимирович Лавров,
кандидат технических наук, ведущий научный
сотрудник, e-mail: vimlavrov@mail.ru;
Владимир Георгиевич Шевцов,
кандидат технических наук,
ведущий специалист;

Александр Вадимович Русанов,
старший специалист;
Вера Александровна Казакова,
младший научный сотрудник

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Современное высокомеханизованное сельскохозяйственное производство характеризуется несовместимо-

стью одновременной реализации требований экологических организаций к максимальному давлению движителей сельскохозяйственной мобильной техники на почву и возможностей повышения энергонасыщенности тракторов при оснащении их существующими колесными движителями. (Цель исследования) Согласовать максимальное давление на почву с допустимыми нормами, коэффициентами использования сцепного веса и уровнем энергонасыщенности тракторов. (Материалы и методы) Использовали расчетный метод определения максимального давления на почву с помощью универсальной характеристики шины. (Результаты и обсуждение) Установили, что при выполнении весенних работ по закрытию влаги и проведению посева пропашных культур при допустимом максимальном давлении 80 килопаскалей, соответствующем всем типам почв, самый массовый универсально-пропашной трактор Беларусь 1020 имеет максимальное давление 150 килопаскалей, что на 70 килопаскалей превышает допустимое при соответствующем недоборе урожая. Установили, что замена ординарных шин на агрофильные позволяет увеличить площадь пятна контакта на 16 процентов с одновременным уменьшением коэффициента неравномерности и увеличением коэффициента использования сцепного веса. Принципиальным условием замены ординарных шин на агрофильные служит сохранение неизменным создаваемого трактором тягового усилия. (Выводы) Определили оптимальные значения коэффициента использования сцепного веса: для шин сверхнизкого давления – 0,5, для резинометаллического шарнира с торсионной подвеской – 0,6, для резиноармированной гусеницы – 0,7. Установили, что проведенные исследования с учетом имеющихся данных о тяговых испытаниях гусеничного трактора Т-250, позволят включить агрофильную концепцию с гипотетической (предполагаемой) зависимостью коэффициента использования сцепного веса от коэффициента продольной неравномерности в пересматриваемый ГОСТ 27021-86 «Тракторы сельскохозяйственные и лесохозяйственные. Тяговые классы».

Ключевые слова: энергетическое средство, сцепной вес, агрофильная шина, ординарная шина, максимальное давление на почву, продольная неравномерность, тяговое усилие.

■ **Для цитирования:** Лавров А.В., Шевцов В.Г., Русанов А.В., Казакова В.А. Согласование тягово-сцепных качеств движителей сельскохозяйственных мобильных энергетических средств с допустимым максимальным давлением на почву // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №3. С. 9-14. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-3-9-14.

Modern highly mechanized agricultural production is characterized by the incompatibility of the simultaneous implementation of the environmental organizations requirements for the maximum pressure of the agricultural mobile equipment propellers on the soil (State Standard R 58655-2019 replacing State Standard 26955-86) and the possibilities of increasing the tractors energy saturation when equipped with existing wheeled propellers (State Standard 27021-86) [1-4].

THE RESEARCH PURPOSE is to coordinate the maximum pressure q_{\max} on the soil with permissible norms, coefficients of adhesion weight φ_c using and the level of tractors energy saturation.

MATERIALS AND METHODS. To solve this problem, it is necessary to conduct in-depth experimental studies of the longitudinal non-uniformity coefficient influence the pressure distribution over the tire K_2 contact area on the adhesion weight φ_c use coefficient for given slipping δ_{\max} and maximum contact pressure q_{\max} .

To coordinate the maximum pressure q_{\max} on the soil with the permissible norms, the adhesion weight φ_c use coefficients and the energy saturation level, the authors used the calculation method for determining the maximum pressure on the soil using the universal characteristics of the tire, given in State Standard R 58656-2019 in combination with the results of actual traction tests of progressive wheel and tracked movers [5-7].

RESULTS AND DISCUSSION. As a result of the research, it was found that when performing spring work on closing moisture and sowing row crops at an admissible maximum pressure of 80 kPa, corresponding to all types of soils, the most massive universal row-crop tractor Belarus 1020 had a maximum pressure of 150 kPa, which was 70 kPa higher than permissible with a corresponding shortage of harvest (Fig. 1).

Based on the previous results, the authors considered the possibility of reducing the maximum pressure of the tractor, based on Fig. 2 and formula (1), obtained taking into account that $q_{\max}^k = \tilde{q}_k \cdot K$; where $K_2 = 1.5$ was the coefficient of longitudinal non-uniformity of pressure distribution over the support area of the tire-soil contact [6, 8-14].

For new highly elastic tires K_2 could be specified when determined according to a method agreed with consumer, customer and tire developer representatives (State Standard R 58656-2019, replacing State Standard 26953-86. Agricultural mobile equipment. Methods for determining the impact of propellers on the soil).

$$\bar{q}_k = \frac{G}{F_{kn}}$$

where G_k – mass that created a static load on the soil by a single wheel propeller; F_{kn} – wheel contact area with soil, m^2 .



Таблица 1 TRACTION INDICATORS OF THE T-150K TRACTOR WITH VARIOUS TIRES Table 1									
Tractor model and its equipment	Operational weight, kg	Tractor transmission	Maximum traction power, kW (hp)	Indicators at the highest tractive power			Slipping, %	Adhesion weight use factor	Conditional traction efficiency
				Traction force, kN (kgf)	Speed, km/h	Specific fuel consumption, g / kWh (g / hph)			
<i>Spring barley stubble</i>									
T-150K on ordinary tires FD-14A 21,3R24	7970	2-1	65.2 (88,7)	38.5(3925)	6.1	426(313)	23.4	0.493	0.529
		2-2	69.5(94,5)	38.5(3925)	6.5	423(311)	23.4	0.493	0.564
		2-3	78.8(107,1)	35.0(3570)	8.1	378(278)	18.6	0.454	0.639
		2-4	83.2(113)	26.5(2700)	11.3	353(260)	11.2	0.339	0.675
T-150K on dual tires FD-14A 21,3R24	9000	2-1	71.2(96,7)	42.0(4280)	6.1	416(306)	24.4	0.476	0.578
		2-2	79.1(107,6)	39.0(3980)	7.3	382(281)	19.6	0.442	0.642
		2-3	80.8(109,2)	34.0(3470)	8.5	364(269)	12.8	0.386	0.655
		2-4	83.3(113,1)	27.0(2750)	11.1	331(244)	11.2	0.306	0.676
T-150K on oligomeric (agrophilic) tires 66×43-25 from "LIM"	8890	1-4	86.2(117,1)	47.0(4790)	6.6	336(247)	13.2	0.539	0.699
		2-1	95.6(129,8)	43.0(4380)	8.0	312(230)	9.4	0.493	0.775
		2-2	98.6(134,1)	39.0(3980)	9.1	304(224)	6.4	0.448	0.799
		2-3	94.8(128,7)	32.5(3310)	10.5	298(220)	3.8	0.372	0.769

Then:

$$q_{max}^k = \frac{G}{F} \cdot K_2 \quad (1)$$

At the same time, the adhesion weight use factor based on table 1 (tests of tires of LIM company), take $\varphi_c^A = 0.5$, where φ_c^A – adhesion weight use factor of agrophilic tires, instead of $\varphi_c^o = 0.39$ where φ_c^o – adhesion weight use factor of ordinary tires corresponding to the old State Standard 27021-86.

At the same time, the authors assumed that $K_2^A = 1.2$, where K_2^A was the coefficient of agrophilic tires irregularity, instead of $K_2^o = 1.5$ where K_2^o – adhesion weight use

factor of ordinary tires.

The fundamental condition for replacing ordinary tires at $\varphi_c^o = 0.39$ with agrophilic ones at $\varphi_c^A = 0.5$ was to maintain a constant traction force created by the tractor:

$$P_{cr} = Const, \quad (2)$$

in accordance with the definition of adhesion weight use factor, was determined by the formula:

$$P_{cr} = G_k \cdot \varphi_c^o = G_k^A \cdot \varphi_c^A, \quad (3)$$

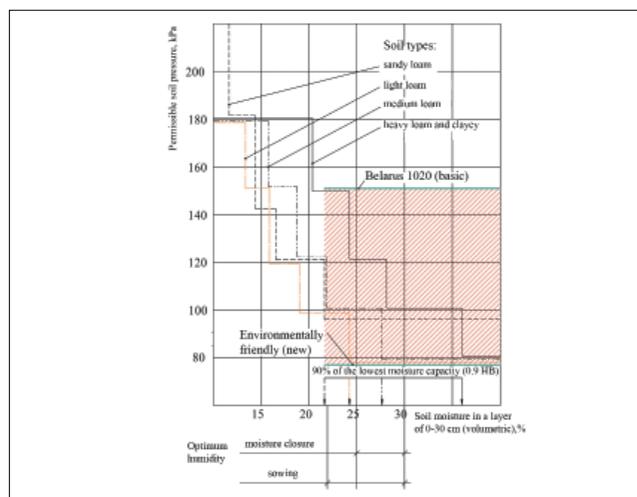


Fig. 1. The maximum allowable pressure on the soil in the spring period of the main technological operations

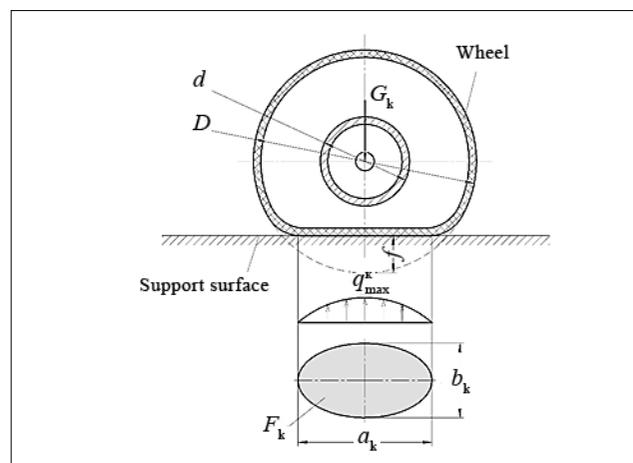


Fig. 2. Diagram of the wheel pneumatic tire deformation during static tests:

f – normal tire deflection, m; D – the outer diameter of the tire, m; d – rim landing diameter, m; b_k – the width of the contact patch, m; a_k – the length of the contact patch, m; F_k – contour contact area of the tire tread, m²; q_{max}^k – maximum normal pressure, kPa; G_k – static vertical load on the wheel, kN

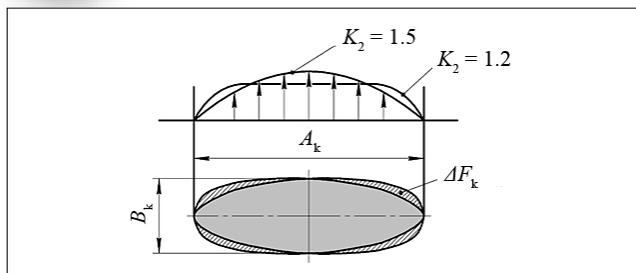


Fig. 3. The necessary increase in the area of the contact spot by 16% with a decrease in the coefficient of longitudinal irregularity: A_k – length of the contact, m; B_k – width of the contact patch, m; ΔF_k – increase in the area of the contact at $K_2 = 1.2$, m^2

where G_k^o – tractor on ordinary tires adhesion weight, G_k^A – tractor on agrophilic tires adhesion weight. Based on the fact that $G_k^o = 36$ kN (Belarus 1020):

$$G_k^A = (G_k^o \cdot \varphi_c^o) / \varphi_c^A = (36 \cdot 0.39) / 0.5 = 28 \text{ kN.}$$

Based on formula (1), the authors defined:

$$q^o / q_{max}^A = (K_2^o \cdot G_k^o \cdot F_k^o) / (K_2^A \cdot G_k^A \cdot F_k^A).$$

Where, taking into account the requirements for reducing the maximum pressure on the soil (Fig. 1) they got:

$$q_{max}^o / q_{max}^A = 150 \text{ kPa} / 80 \text{ kPa} = 1.88.$$

Given $K_2^o, K_2^A, G_k^o, G_k^A$ they determined:

$$1.88 = (1.5 \cdot 36 \cdot F_k^A) / (1.2 \cdot 28 \cdot F_k^o),$$

where $F_k^A = 1,16 \cdot F_k^o$,

where O – ordinary, A – agrophilic.

The scale of the increase in F_k^A in comparison with F_k^o was schematically shown in (Fig. 3), and the sequence of actions to reduce the maximum pressure on the soil was shown on the nomogram (Fig. 4).

The nomogram graphically shows a decrease in the maximum pressure q on the soil from 150 kPa to 80 kPa ($\Delta\Sigma$) with an increase in the adhesion weight use factor φ_c from 0.39 to 0.50 due to a decrease in the adhesion weight from 36 kN to 28 kN, a decrease in the coefficient of longitudinal irregularity of K_2 from 1.5 to 1.2 – ΔK , an increase in the tire contact area by 16% – ΔF with a constant traction force $P_{cr} = 14$ kN and an increase in the energy saturation of E_{tr} from 2,0 kW/kN to 2,6 kW/kN, corre-

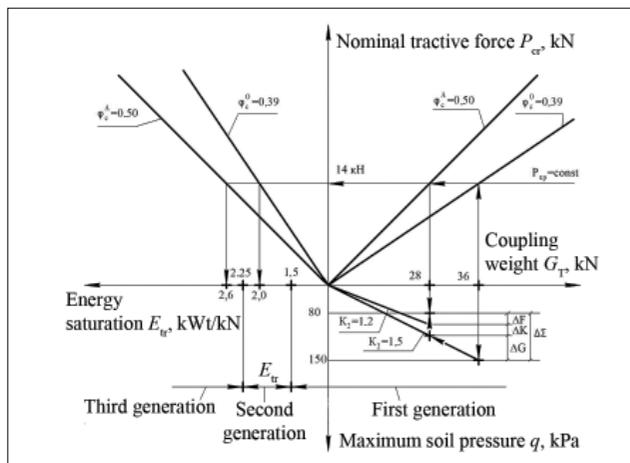


Fig.4. Coordination of the maximum pressure q on the soil with permissible norms, coefficients of using the adhesion weight φ_c and the level of energy saturation E_{tr}

sponding to Professor G.M. Kutkov qualifications for third-generation tractors.

Summarizing the results of the research presented in tables 2, 3, as well as in figure 5, it was necessary to include in the revised State Standard 27021-86 “Agricultural and forestry tractors. Traction classes”, the following recommendations.

The nominal tractor tractive force in kilonewtons was determined by the formula

$$P_{cr, nom} = A \cdot m_e,$$

where A – coefficient set depending on the tractor type; m_e – operating weight of the tractor, kg.

Coefficient A take equal:

$3.24 \cdot 10^{-3}$ – for agricultural tractors;

$3.73 \cdot 10^{-3}$ – for tractors with an operating weight of up to 2600 kg;

for four- and three-wheeled tractors with two driving wheels (4K2 and 3K2) with an operating weight of over 2600 kg;

for four-wheel tractors with four driving wheels (4K4) and an operating weight of over 2600 kg;

$3.92 \cdot 10^{-3}$ – with tires of the ordinary concept;

$5.00 \cdot 10^{-3}$ – with ultra-low pressure tires;

for tracked tractors:

THE MAIN INDICATORS OF THE TRACTION CHARACTERISTICS OF THE CATERPILLAR TRACTOR T-250						
Soil background	Winter wheat stubble					
Operational weight, kg	13200					
Transmission	1-3	1-4	II-1	II-2	II-3	II-4
Maximum traction power, kW	151.7	149.0	148.94	147.95	147.25	142,5
Traction force, kN	97.5	87.0	75.0	61.0	51.0	47,5
Speed, km/h	3.6	6.2	7.15	7.95	9.3	7,8
Slipping, %	6.2	2.9	1.7	1.5	1.2	0,9
Conditional traction efficiency	0.809	0.799	0.794	0.789	0.785	0,760
Coupling weight utilization rate	0.74	0.66	0.57	0.46	0.39	0,36



EXISTING AND RECOMMENDED CHARACTERISTICS OF RUNNING SYSTEMS					
Indicators	Traction concept (GOST 27021-86)		Agrophilic concept (GOST 26955-86)		
	Wheel scheme 4K4a	Track scheme	Ultra low pressure tire wheel	Track	
				rubber-reinforced track with combined friction-pinned engagement RAG*	metal with rubber-metal hinge and torsion bar suspension of road wheels RMSH**
Adhesive weight utilization rate	0.39	0.49	0.50	0.70	0.60
Allowable slipping, no more,%	16	5	3	3	3
Maximum pressure on the soil, kPa	150.0	110.0	80.0	80.0	80.0
Permissible maximum pressure, kPa	80.0				

* RAG – rubber-reinforced track ** RMSH – rubber-metal hinge

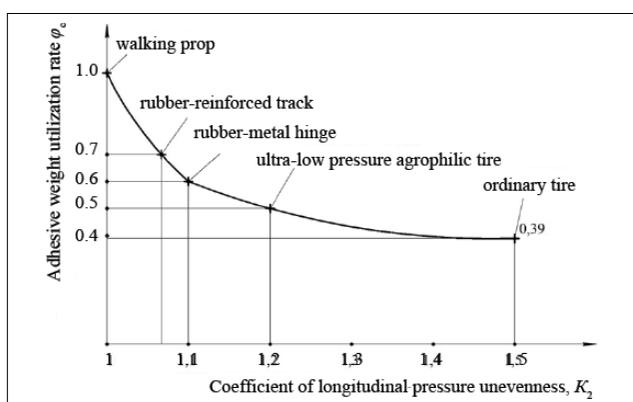


Fig. 5. Generalized hypothetical (assumed) dependence of the adhesive weight utilization rate φ_c on the longitudinal unevenness coefficient

- 4.9·10⁻³ – with a caterpillar of the ordinary concept;
- 6.0·10⁻³ – with rubber-metal hinge track, rollers with torsion bar suspension;
- 7.0·10⁻³ – rubber-reinforced track with a combined friction-pinching system of force transmission for forestry tractors:

- 4.4·10⁻³ – for tracked tractors;
- 3.4·10⁻³ – for wheeled tractors.

In the absence of data to determine the operating mass, it was taken equal to:

- 1.15 – values of structural mass for wheeled tractors;
- 1.08 – values of constructional mass for tracks.

CONCLUSIONS. Taking into account the research data as an agrophilic direction, ensuring compliance with the norms of impact on the soil, and positively solving the problems of energy saturation, it was possible to recommend the development of running systems to ensure the achievement of the adhesion weight use factor $\varphi_c = 0.5$ (ultra-low pressure tire), $\varphi_c = 0.6$ (rubber-metal hinge with torsion bar suspension) and $\varphi_c = 0.7$ (rubber-reinforced track).

The conducted research, taking into account the available data on traction tests of the T-250 tracked tractor, would make it possible to include the agrophilic concept with a hypothetical (assumed) dependence of the adhesion weight use factor φ_c on the longitudinal unevenness coefficient K_2 in the form of recommendations in the revised State Standard 27021-86 “Agricultural and forestry tractors. Traction classes” [15-20].

REFERENCES

1. Kut'kov G.M. Traktory i avtomobili. Teoriya i tekhnologicheskiye svoystva [Tractors and cars. Theory and technological properties]. Moscow: NITS INFRA-M. 2014. 506 (In Russian).
2. Kut'kov G.M. Razvitiye tekhnicheskoy kontseptsii traktora [Development of the tractor technical concept]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2019. N1. 27-35 (In Russian).
3. Izmaylov A., Shevtsov V., Lavrov A., Godzhaev Z., Zubina V. Evaluation of the Technical Level of Modern Agricultural Tractors Represented in the Russian Market. *SAE Technical Paper*. 2018. N1. 1-6 (In English).
4. Antyshev N.M., Shevtsov V.G. Nauchnye osnovy postroyeniya mobil'nykh energeticheskikh sredstv [Scientific basis for building mobile energy facilities]. *Agroinzhenernaya Rossiya: stanovleniye, sovremennoye sostoyaniye. Strategiya razvitiya*. Moscow: Rosinformagrotekh. 2007. 393-414 (In Russian).
5. Rusanov V.A. Problema pereuplotneniya pochvy dvizhiteleyami i effektivnyye puti ee resheniya [The problem of soil compaction by movers and effective ways to solve it]. Moscow: VIM. 1998. 368 (In Russian).
6. Kut'kov G. M. Razvitiye tekhnicheskoy kontseptsii traktora [Development of the technical concept of the tractor]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2019. N1. C. 27-35 (In Russian).
7. Izmaylov A.Yu., Kryazhkov V.M., Antyshev N.M., Elizarov V.P., Keller N.D., Lobachevskiy Ya.P., Sorokin N.T., Gurylev G.S., Savel'ev G.S., Sizov O.A., Shevtsov V.G. Kontseptsiya modernizatsii parka sel'skokhozyaystvennykh traktorov Rossii na period do 2020 goda [Concept of modernization of the Russian agricultural tractor fleet for the period up to 2020]. Moscow: VIM. 2013. 87 (In Russian).

8. Izmaylov A., Shevtsov V., Lavrov A., Godzhaev Z. Application of the Universal Tire Characteristic for Estimating the Maximum Pressure of a Pneumatic Tractor Wheel on the Ground. *SAE Technical Paper*. 2015. N1. 5-7 (In English).
9. Shevtsov V.G. Nauchno-inzhenernye osnovy realizatsii strategii razvitiya mobil'noy sel'skokhozyaystvennoy energetiki. Izbrannye voprosy nauchnogo naslediya akademika I.P. Ksenevicha [Scientific and engineering bases for the implementation of the strategy for the development of mobile agricultural energy. Selected questions of the scientific heritage of academician I.P. Ksenevich]. Moscow: VIM. 2009. 174 (In Russian).
10. Shevtsov V.G., Soloveychik A.A., Rusanov A.V., Lavrov A.V. Ispol'zovanie universal'noy kharakteristiki shiny dlya opredeleniya maksimal'nogo davleniya kolesnogo dvizhitelya na pochvu [Using a universal tire characteristic to determine the maximum pressure of the wheel drive on the ground]. Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika: sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunar. za-ochnoy nauch.-prakt. konf. N2. Ch. 2(7-2). Voronezh: Voronezhskiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskii universitet. 2014. 169-173 (In Russian).
11. Godzhaev Z.A., Pryadkin V.I. Modelirovanie vzaimodeystviya vysokoelelastichnoy shiny s nerovnost'yu dorogi [Modeling the interaction of a highly elastic tire with road roughness]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2014. N1. 16-18 (In Russian).
12. Goncharenko S.V., Godzhayev Z.A., Popovskiy A.A., Stankevich E.B., Koren' V.V. Identifikatsiya traktornykh shin po tyagovomu klassu [Identification of tractor tires by traction class]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2010. N4. 25-19 (In Russian).
13. Shevtsov V.G., Godzhayev T.Z., Erilina E.V. Perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennykh mobil'nykh energosredstv [Prospects for the development of agricultural mobile energy facilities]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2018. N3. 25-31 (In Russian).
14. Ksenevich I.P., Skotnikov V.A., Lyasko M.I. Khodovaya sistema – pochva – urozhay [Moving system – soil – crop]. Moscow: Agropromizdat. 1985. 384 (In Russian).
15. Provedenie issledovaniy dlya opredeleniya usloviy ratsional'nogo agregatirovaniya gusenichnogo traktora klassa 5-6 s sel'skokhozyaystvennymi mashinami otechestvennogo i zarubezhnogo proizvodstva i razrabotka rekomendatsiy po sferam ego primeneniya i naboru sel'skokhozyaystvennykh mashin: otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote [Conducting research to determine the conditions for rational aggregation of a class 5-6 agricultural tractor with agricultural machines of domestic and foreign production and developing recommendations on the scope of its application and a set of agricultural machines: report on research work]. Moscow: VIM. 2007 (In Russian).
16. Lobachevskiy Ya., Godzhaev Z., Shevtsov V., Lavrov A., Sizov O., Merzlyakov A. Harmonizing power categories and towing categories of agricultural tractors with series of preferred numbers. *SAE Technical Papers*. 2017. January. 18-24 (In English).
17. Shevtsov V., Lavrov A., Godzhaev Z., Kryazhkov, V. et al. The Development of the Russian Agricultural Tractor Market from 2008 to 2014. *SAE Technical Paper*. 2016. N1. 8128 (In English).
18. Márquez L. Tractores Agrícolas: tecnología y utilización. Madrid: B&H Grupo Editorial. 2012. 844 (In Spanish).
19. Sidorov M.V., Lavrov A.V., Voronin V.A. Modul'no-tekhnologicheskaya skhema dlya traktorov tyagovogo klassa 1,4 [Modular technological scheme for tractors of traction class 1.4]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2019. N4(37). 57-62 (In Russian).
20. Godzhaev Z.A., Lavrov A.V., Shevtsov V.G., Zubina V.A. O vybere tekhnologicheskogo napravleniya razvitiya sistemy sel'skokhozyaystvennykh mobil'nykh energosredstv [About the choice of the technological direction of the development of the system of agricultural mobile energy facilities]. *Izvestiya moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta MAMI*. 2020. N1(43). 35-41 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

**Статья поступила в редакцию 14.07.2020
The paper was submitted
to the Editorial Office on 14.07.2020**

**Статья принята к публикации 19.08.2020
The paper was accepted
for publication on 19.08.2020**



Обоснование параметров решетчатого рыхлителя копателя моркови в условиях Республики Узбекистан

Рустам Нуриддинович Норчаев¹,
кандидат технических наук, доцент;
Даврон Рустамович Норчаев²,
доктор технических наук, руководитель лаборатории,
e-mail: davron_1983k@mail.ru;

Равшан Хушмуродович Чоршанбиев¹,
научный сотрудник

¹Каршинский инженерно-экономический институт (КИЭИ), г. Карши, Республика Узбекистан;

²Научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, г. Янгиюль, Республика Узбекистан

Реферат. Показали, что во время уборки моркови копателями из-за изменчивости физико-механических свойств почвы образуются прочные почвенные комки, которые плохо отделяются от корнеплодов и осложняют технологический процесс сепарации, что приводит к перегрузке машин. Разработали решетчатый рыхлящий рабочий орган, улучшающий сепарирующие способности элеватора копателя. (*Цель исследования*) Обосновать параметры решетчатого рыхлителя копателя моркови, который обеспечивает интенсивное разрыхление почвы и увеличивает полноту сепарации примесей при минимальном повреждении корнеплодов. (*Материалы и методы*) Исследовали геометрические, кинематические параметры решетчатого рыхлителя копателя моркови. Изучив физико-механические свойства грядки моркови, теоретически обосновали конструктивные параметры механизма и его кинематические показатели. (*Результаты и обсуждение*) Установили, что при взаимодействии решетчатого рыхлителя с почвенными пластами на элеваторе происходит разрушение почвенных комков, разрыхление почвы при следующих параметрах: радиус рыхлителя – не более 9,5 сантиметра, высота расположения вала – 20 сантиметров, погруженная часть лопасти рыхлителя – 6 сантиметров, ширина решетчатого рыхлителя – 47 сантиметров. (*Выводы*) Выявили, что решетчатые рыхлители способствуют интенсивному сепарированию почвенного пласта без повреждения и потерь корнеплодов моркови. Доказали, что окружная скорость решетчатого рыхлителя должна быть не более 2,5 метра в секунду, кинематический режим средства интенсификации сепарации – 2,5, радиус рыхлителя – не более 9,5 сантиметра.

Ключевые слова: копатель моркови, сепарация почвенных комков, решетчатый рыхлитель, клубненосный пласт, морковь, кинематический режим.

Для цитирования: Норчаев Р.Н., Норчаев Д.Р., Чоршанбиев Р.Х. Обоснование параметров решетчатого рыхлителя копателя моркови в условиях Республики Узбекистан // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №3. С. 15-19. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-3-15-19.

Substantiation of the Lattice Ripper Parameters of the Carrot Digger in Conditions of the Republic of Uzbekistan

Rustam N. Norchaev¹,
Ph.D.(Eng.), associate professor;
Davron R. Norchaev²,
Dr.Sc.(Eng.), head of laboratory,
e-mail: davron_1983k@mail.ru;

Ravshan Kh. Chorshanbiev¹,
researcher

¹Karshi Engineering and Economic Institute (KEI), Karshi, Republic of Uzbekistan;

²Research Institute of Agricultural Mechanization, Yangiyul, Republic of Uzbekistan

Abstract. The authors showed that during carrot harvesting by diggers, strong soil lumps were formed that were poorly separated from root crops and complicated the separation process, which led to machines overloading, due to the variability of the physical and mechanical soil properties. A lattice loosening working body was developed that improved the digger elevator separating ability. (*Research purpose*) To substantiate lattice ripper parameters of the carrot digger, which provides intensive loosening of the soil and thereby increases the impurities separation completeness with minimal root crops damage. (*Materials and methods*) The

authors researched geometric, kinematic parameters of lattice ripper of the carrot digger. They theoretically substantiated the design parameters of the mechanism and its kinematic parameters after they studied the physico-mechanical properties of the carrot bed. (*Results and discussion*) The authors found that during the interaction of the lattice ripper with soil layers on the elevator, soil lumps were destroyed, the soil was loosened with the following parameters: the ripper radius was not more than 9.5 centimeters, the height of the shaft was 20 centimeters, the blade submerged part was 6 centimeters, the width of the lattice ripper was 47 centimeters. (*Conclusions*) It was revealed that lattice ripper promoted intensive separation of the soil layer without damage and loss of carrot root crops. The authors proved that the peripheral speed of the lattice ripper should be no more than 2.5 meters per second, the kinematic mode of the separation intensification means should be 2.5, and the radius of the ripper should be no more than 9.5 centimeters.

Keywords: carrot digger, soil lump separation, lattice ripper, tuberous layer, carrot, kinematic mode.

For citation: Norchaev R.N., Norchaev D.R., Chorshanbiev R.Kh. Obosnovanie parametrov reshetchatogo rykhlyatelya kopatelya morkovi v usloviyakh Respubliki Uzbekistan [Substantiation of the lattice ripper parameters of the carrot digger in conditions of the Republic of Uzbekistan]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N3. 15-19 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-3-15-19.

В Республике Узбекистан морковь выращивают главным образом на огородах, приусадебных участках, в мелких фермерских хозяйствах. Ее производство в хозяйствах отличается высокими затратами ручного труда. Существующие технологии возделывания и уборки моркови также связаны с большими материальными и трудовыми затратами, несоблюдением агротехнических сроков проведения работ [1].

При уборке моркови в основном применяют самодельные копачи, которые не обеспечивают необходимого качества работы. А зарубежные копатели моркови слишком энерго- и металлоемкие. К тому же возникают проблемы при агрегатировании с пропашными тракторами хлопководческого комплекса, поскольку нет специальных тракторов. Процесс сепарации в существующих копателях моркови протекает удовлетворительно только на легких и средних почвах с нормальной влажностью. При уборке на тяжелых почвах, особенно с повышенной или пониженной влажностью, сепарирующие органы работают неэффективно.

Конструкция копателей с прутковыми элеваторами становится причиной возрастающих потерь и повреждений корнеплодов. К существенным недостаткам серийных прутковых элеваторов относится то, что они значительно теряют сепарирующую способность как при пониженной влажности почвы – из-за большого содержания почвенных комков в ворохе, так и при повышенном содержании влаги, когда налипание почвы на прутки практически сводит к нулю просветы между ними [2, 3].

Сепарирующую способность большинства рабочих органов улучшают, устанавливая больше элеваторов. Но они не всегда обеспечивают полную сепарацию без повреждения значительного количества клубней или корнеплодов [4].

В этой связи важно повысить эффективность сепарации почвенной массы элеватором копателя при наименьших потерях и повреждениях клубней моркови.

Цель исследования – обосновать параметры решетчатого рыхлителя копателя моркови, который обеспечивает равномерное распределение вороха по ширине элеватора и тем самым увеличивает полноту сепарации примесей при минимальном повреждении корнеплодов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Для решения вышеуказанных проблем мы предложили энергосберегающий копатель моркови с усовершенствованным элеватором (рис. 1).

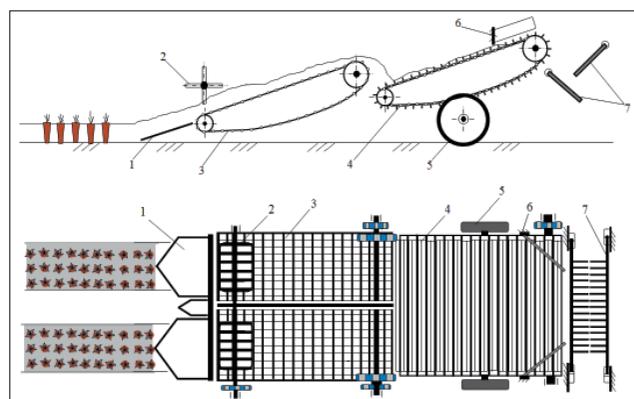


Рис. 1. Конструктивная схема копателя моркови

1 – подкапывающие лемехи; 2 – решетчатый рыхлитель; 3 – основной элеватор; 4 – каскадный элеватор; 5 – колеса; 6 – направлятели; 7 – решетчатые гасители

Fig. 1. Structural diagram of a carrot digger

1 – digging plowshares; 2 – lattice ripper; 3 – main elevator; 4 – cascade elevator; 5 – wheels; 6 – guides; 7 – lattice absorbers

Лемехи состоят из двух основных и одного промежуточного. Прикрепленные к раме решетчатые рыхлители изготовлены из прутков диаметром 12 мм и покрыты резиной. На прутках элеватора установлены поперечные планки, изготовленные из металлического листа толщиной 3 мм и покрытые резиной. Гаситель состоит из двух частей, жестко зафиксированных под углом к раме. Он выполнен в виде решетки, покрытой резиной.



Результаты и обсуждение. Радиус решетчатого рыхлителя R_p определяют из условия максимального рыхления и отделения части пласта вороха с лопастями рыхлителя с учетом радиуса вала рыхлителя r_b , толщины почвенного вороха h_n и максимальной высоты расположения моркови h_m при элеваторе [5]:

$$R_p \leq h_n - h_m + r_b \quad (1)$$

где R_p – радиус решетчатого рыхлителя, м;

r_b – радиус вала, м;

h_n – толщина почвенного пласта, м;

h_m – максимальная высота расположения моркови при элеваторе, м.

Подставив в (1) определенные экспериментальным путем значения $h_n = 16$ см, $h_m = 8$ см и принимая $r_b = 1,5$ см, получим, что $R_p \leq 9,5$ см.

Для определения радиуса решетчатого рыхлителя проведем ось Ox так, чтобы направление оси совпадало с направлением движения полотна элеватора копателя моркови (рис. 2).

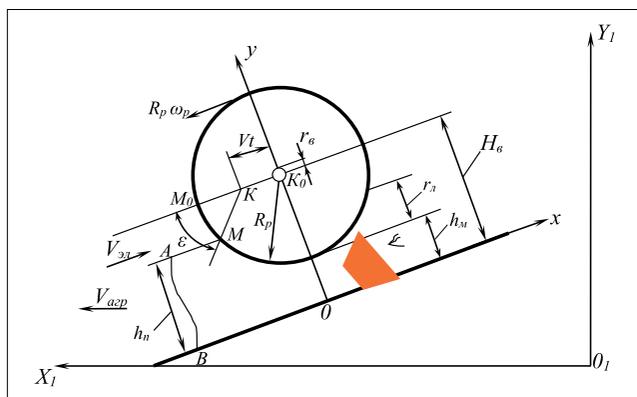


Рис. 2. Схема к определению высоты установки приводного вала решетчатого рыхлителя

Fig. 2. Scheme for determining the installation height of the drive shaft of the lattice ripper

Рассмотрим движение точки M конца решетчатого рыхлителя радиусом R_p , относительно пласта почвы высотой h_n , поступающего на элеватор, при условии, что вал расположен на высоте H_b над линией полотна элеватора:

$$H_b \geq h_n + \frac{R_p (V_{agr} + V_3)}{V_p} - \left(\frac{h_m + r_b}{2} \right), \quad (2)$$

где V_{agr} – поступательная скорость агрегата, м/с;

V_3 – скорость элеватора, м/с;

V_p – окружная скорость решетчатого рыхлителя, м/с.

Из проведенных исследований кинематический режим решетчатого рыхлителя определяется следующим выражением [6-9]:

$$\lambda_p = \frac{V_p}{V_{agr}} = 2,5, \quad (3)$$

где λ_p – кинематический режим решетчатого рыхлителя.

С учетом $V_{agr} = 1,0$ м/с получим, что окружная скорость решетчатого рыхлителя $V_p = 2,5$ м/с.

Подставив в (2) определенные экспериментальным путем значения $V_{agr} = 1,0$ м/с, $V_3 = 1,2$ м/с и принимая $R_p = 0,095$ м, $V_p = 2,5$ м/с и $h_n = 0,16$ м, получим, что $H_b \geq 0,20$ м [10-14].

Учитывая значения высоты H_b расположения вала решетчатого рыхлителя и толщины почвенного пласта h_n , определяем погруженную часть лопасти рыхлителя к вороху:

$$r_l = R_p - \left(\frac{R_p (V_{agr} + V_3)}{V_p} - \left(\frac{h_m + r_b}{2} \right) \right), \quad (4)$$

где r_l – погруженная часть лопасти рыхлителя к вороху, м.

Подставив в (4) определенные значения $V_{agr} = 1,0$ м/с, $V_3 = 1,2$ м/с и принимая $R_p = 0,095$ м, $h_m = 0,08$ м, $V_p = 2,5$ м/с и $r_b = 0,015$ м, получим, что $r_l = 0,06$ м.

В экспериментальных исследованиях были определены геометрические параметры и формы вороха при элеваторе. Ворох при элеваторе имеет трапециевидную форму с углом откоса $\phi_b = 60^\circ$, ширина вершины $B_0 = 0,4$ м.

Ширину решетчатого рыхлителя B_p выбирают исходя из ширины вершины B_0 и угла откоса ϕ_b вороха при элеваторе:

$$B_p \geq B_0 + 2 \left\{ R_p - \left[\frac{R_p (V_{agr} + V_3)}{V_p} - \left(\frac{h_m + r_b}{2} \right) \right] \right\} \text{ctg} \phi_b, \quad (5)$$

где B_p – ширина решетчатого рыхлителя, м;

B_0 – ширина вершины, м.

Подставив в (5) вышеприведенные значения B_0 , R_p , V_{agr} , V_3 , V_p , h_m и r_b , получим, что $B_p \geq 0,47$ м.

Согласно (5) принимаем ширину решетчатого рыхлителя $B_p = 0,48$ м.

За некоторый промежуток времени копатель моркови продвинется вперед со скоростью V на расстояние $KK_0 = Vt$. Точка K_0 конца барабана решетчатого рыхлителя, вращающегося с постоянной угловой скоростью ω_p , за время t перейдет в положение K , повернувшись на угол $\epsilon = \omega_p t$.

Учитывая, что $OK_0 = H_b = R_p + h_m$, получим уравнение движения точки в координатной форме:

$$\begin{cases} X_M = V_{agr} \cdot t - R_p \cos \omega_p t \\ Y_M = R_p + h_m - R_p \sin(\omega_p t) \end{cases} \quad (6)$$

где t – время, с.

Продифференцировав уравнения (6) по времени, получим уравнения составляющих абсолютной скорости:

$$V_x = \frac{dx}{dt} = V_{agr} - R_p \omega_p \cos \omega_p t; \quad (7)$$

$$V_y = \frac{dy}{dt} = R_p \sin \omega_p t. \quad (8)$$

Абсолютную скорость движения любой точки лопасти можно найти из выражения:

$$V_{abc} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{V_{acp}^2 - 2R_p \omega_p V_{acp} \sin \omega_p t + R_p^2 \omega_p^2}, \quad (9)$$

$$\text{где } \sin \omega_p t = \frac{R_p - r_a}{R_p} = \frac{\left[\frac{R_p (V_{acp} + V_s)}{V_p} - \left(\frac{h_m + r_a}{2} \right) \right]}{R_p}.$$

Отсюда выражение (9) примет вид:

$$V_{abc} = \sqrt{V_{acp}^2 - \frac{V_{acp}}{R_p} \left[2R_p (V_{acp} + V_s) - V_p (h_m + r_a) \right] + R_p^2 \omega_p^2}. \quad (10)$$

Подставим в (10) определенные значения $V_{acp} = 1,0$ м/с, $V_s = 1,2$ м/с [15-20].

Примем $R_p = 0,095$ м, $V_p = 2,5$ м/с и $h_m = 0,16$ м.

В итоге получим, что $V_{abc} = 2,3$ м/с.

Выводы. Решетчатые рыхлители способствуют интенсивному сепарированию почвенного пласта без повреждения и потерь корнеплодов моркови. Определили рациональные параметры, повышающие сепарацию почвы копателем моркови: радиус решетчатого рыхлителя – 0,095 м, высота расположения вала – 20 см, погруженная часть лопасти рыхлителя – 6 см, ширина решетчатого рыхлителя – 47 см, окружная скорость решетчатого рыхлителя – 2,5 м/с, кинематический режим средства интенсификации сепарации – 2,5, абсолютная скорость движения любой точки лопасти – 2,3 м/с.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Норчаев Д., Норчаев Р. Корнеклубнекопатель // *Евро-азиатский союз ученых*. 2019. N4(61). С. 55-57.
2. Zhongcai W., Hongwen L., Yijin M., Chuanzhu S., Xueqiang L., Wenzheng L., Guoliang S. Experiment and analysis of potato-soil separation based on impact recording technology. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2019. N5(12). 71-80.
3. Lu G. Y., Shang S.Q., Wang D.W., Li J.D., Han W.P., He X.N. Study on lacy components of carrot harvester. *Journal of Agricultural Mechanization Research*. 2016. N2. 119-122.
4. Pramod Reddy A., Moses S.C., Aalam R.N. Performance Evaluation of Adjustable Elevator for Tractor Drawn Potato Digger. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2018. N7(11). 1502-1513.
5. Petersen T., Hampf H. Einsatz einer pneumatischen Trennanlage in der Annahmestrecke des Kartoffellagerhaus Broderstorf. *Agrartechnik*. 1984. N7(34). 314-316.
6. Листопад Г.Е., Демидов Г.К., Зонов Б.Д. и др. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. М.: Агропромиздат. 1986. 688 с.
7. Алакин В.М., Никитин Г.С. Результаты исследований технологического процесса картофелекопателя // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. N5. С. 14-19.
8. Никитин Г.С., Алакин В.М., Плахов С.А. Определение рациональной скорости вращения рабочих органов интенсивной зоны сепарации ротационного картофелекопателя // *Аграрный научный журнал*. 2019. N6. С. 96-100.
9. Mukesh Jain, Vijaya Rani, Anil Kumar. Design and Development of Tractor Operated Carrot Digger. *Agricultural mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2018. N3(49). 79-85.
10. Ahmed M. O., Abd El-Wahab M.K., Tawfik M.A., Wasfy K.I. Evaluating of a prototype machine for carrot crop harvesting suitable for small holdings. *Zagazig Journal of Agricultural Research*. 2018. N1(45). 213-226.
11. Sibirev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Experimental Laboratory Research of Separation Intensity of Onion Set Heaps on Rod Elevator. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. N23. 10086-10091.
12. Сибирёв А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. Результаты экспериментальных исследований сепарации вороха лука-севка на прутковом элеваторе с асимметрично установлен-
- ными встряхивателями // *Engineering Technologies and Systems*. 2019. N1. С. 91-108.
13. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G. Results of laboratory investigations of soil screening ability of a chain digger with asymmetric vibrator arrangement. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2019. N1(57). 9-18.
14. Dorokhov A.S., Aksenov A.G., Sibirev A.V. Methodological justification of dynamic systems model construction by artificial neural networks. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2019. N2(58). 63-75.
15. Sibirev A.V., Aksenov A.G., Dorokhov A.S., Ponomarev A.G. Comparative study of force action of harvester work tools on potato tubers. *CAAS agricultural engineering journal*. 2019. N3(55). 85-90.
16. Дорохов А.С., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г. Результаты полевых исследований сепарации вороха лука-севка на прутковом элеваторе с асимметрично установленными встряхивателями // *Engineering Technologies and Systems*. 2020. N1(30). С. 133-149.
17. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G., Sazonov N.V. Justification of design and technological parameters of the onion harvester bed-shaping roller spiral drum. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2020. N1. 107-114.
18. Dorokhov, A.S. Laboratory-field research results for onion cleaning / A.S. Dorokhov, A.V. Sibirev, A.G. Aksenov, M.A. Mosyakov // *INMATEH – Agricultural Engineering*. – 2020. – № 2. (57). – pp. 41 – 48.
19. M. Tauseef Asghar, Abdul Ghafoor, Anjum Munir, Muhammad Iqbal, Manzoor Ahmad. Design modification and field testing of groundnut digger. *Asian Journal of Science and Technology*. 2014. Vol. 5. 389-394.
20. Natendaz N. The design and theoretical justification of a vibratory digger shovel. Scientific technical union of mechanical engineering Bulgarian association of mechanization in agriculture. 2016. Vol. 5. 9-12.



REFERENCES

1. Norchaev D., Norchaev R. Korneklubnekopatel' [Roots tubers digger]. *Evroaziatskiy soyuz uchenykh*. 2019. N4(61). 55-57 (In Russian).
2. Zhongcai W., Hongwen L., Yijin M., Chuanzhu S., Xueqiang L., Wenzheng L., Guoliang S. Experiment and analysis of potato-soil separation based on impact recording technology. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2019. N5(12). 71-80.
3. Lu G. Y., Shang S.Q., Wang D.W., Li J.D., Han W.P., He X.N. Study on lacy components of carrot harvester. *Journal of Agricultural Mechanization Research*. 2016. N2. 119-122 (In English).
4. Pramod Reddy A., Moses S.C., Aalam R.N. Performance Evaluation of Adjustable Elevator for Tractor Drawn Potato Digger. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2018. N7(11). 1502-1513 (In English).
5. Petersen T., Hampf H. Einsatz einer pneumatischen Trennanlage in der Annahmestrecke des Kartoffellagerhaus Broderstorf. *Agrartechnik*. 1984. N7(34). 314-316 (In English).
6. Listopad G.E., Demidov G.K., Zonov B.D. i dr. Sel'skokhozyaystvennye i meliorativnye mashiny [Agricultural and reclamation machines]. Moscow: Agropromizdat. 1986. 688 (In Russian).
7. Alakin V.M., Nikitin G.S. Rezul'taty issledovaniy tekhnologicheskogo protsessa kartofelekopatelya [The research results of the technological process of a potato digger]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2018. N5. 14-19 (In Russian).
8. Nikitin G.S., Alakin V.M., Plakhov S.A. Opredelenie rational'noy skorosti vrashcheniya rabochikh organov intensivnoy zony separatsii rotatsionnogo kartofelekopatelya [Determination of the rational rotation speed of the working bodies of the intensive separation zone of a rotary potato digger]. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2019. N6. 96-100 (In Russian).
9. Mukesh Jain, Vijaya Rani, Anil Kumar. Design and Development of Tractor Operated Carrot Digger. *Agricultural mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2018. N3(49). 79-85 (In English).
10. Ahmed M. O., Abd El-Wahab M.K., Tawfik M.A., Wasfy K.I. Evaluating of a prototype machine for carrot crop harvesting suitable for small holdings. *Zagazig Journal of Agricultural Research*. 2018. N1(45). 213-226 (In English).
11. Sibirev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Experimental Laboratory Research of Separation Intensity of Onion Set Heaps on Rod Elevator. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. N23. 10086-10091.
12. Sibirev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Rezul'taty eksperimental'nykh issledovaniy separatsii vorokha luka-sevka na prutkovom elevatore s asimmetrichno ustanovlennymi vstryakhivatelyami [Results of experimental studies of separation of a pile of onions-sevka on a bar Elevator with asymmetrically installed shakers]. *Engineering Technologies and Systems*. 2019. N1. 91-108 (In Russian).
13. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G. Results of laboratory investigations of soil screening ability of a chain digger with asymmetric vibrator arrangement. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2019. N1(57). 9-18.
14. Dorokhov A.S., Aksenov A.G., Sibirev A.V. Methodological justification of dynamic systems model construction by artificial neural networks. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2019. N2(58). 63-75.
15. Sibirev A.V., Aksenov A.G., Dorokhov A.S., Ponomarev A.G. Comparative study of force action of harvester work tools on potato tubers. *CAAS agricultural engineering journal*. 2019. N3(55). 85-90.
16. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G. Rezul'taty polevykh issledovaniy separatsii vorokha luka-sevka na prutkovom elevatore s asimmetrichno ustanovlennymi vstryakhivatelyami [Results of field studies of separation of a pile of onions-sevka on a bar Elevator with asymmetrically installed shakers]. *Engineering Technologies and Systems*. 2020. N1(30). 133-149 (In Russian).
17. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G., Sazonov N.V. Justification of design and technological parameters of the onion harvester bed-shaping roller spiral drum. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2020. N1. 107-114.
18. Dorokhov, A.S. Laboratory-field research results for onion cleaning / A.S. Dorokhov, A.V. Sibirev, A.G. Aksenov, M.A. Mosyakov // *INMATEH – Agricultural Engineering*. – 2020. – № 2. (57). – pp. 41 – 48.
19. M. Tauseef Asghar, Abdul Ghafoor, Anjum Munir, Muhammad Iqbal, Manzoor Ahmad. Design modification and field testing of groundnut digger. *Asian Journal of Science and Technology*. 2014. Vol. 5. 389-394.
20. Natenadze N. The design and theoretical justification of a vibratory digger shovel. Scientific technical union of mechanical engineering Bulgarian association of mechanization in agriculture. 2016. Vol. 5. 9-12.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 05.06.2020
The paper was submitted
to the Editorial Office on 05.06.2020

Статья принята к публикации 03.09.2020
The paper was accepted
for publication on 03.09.2020

Обоснование технологических схем и параметров роботизированных доильных залов

Семен Сергеевич Рузин¹,
аспирант, младший научный сотрудник
Федор Евгеньевич Владимиров¹,
аспирант, младший научный сотрудник;

Сергей Сергеевич Юрочка¹,
аспирант, младший научный сотрудник
Глеб Александрович Довгерд²,
студент-магистр

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

²Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Российская Федерация

Реферат. Создание компактных роботизированных манипуляторов доения предполагает их использование не только в одноместных постах роботизированного доения (монобокс), но и в доильных залах типа «Параллель» или «Карусель» вместимостью до 120 голов при одновременном доении. (*Цель исследования*) Обосновать технологические схемы доильных залов и варианты их использования на животноводческих фермах различной вместимости. (*Материалы и методы*) Изучили опыт организации системы машинного и роботизированного доения крупного рогатого скота в Российской Федерации и зарубежных странах, лидирующих по уровню производства молока. Проанализировали ассортимент машин для молочного животноводства. По результатам имитационного моделирования в среде *Any Logic* предложили концепции систем роботизированного доения. Сравнили пропускную способность при выполнении операций доения роботизированными типами доильных установок и стандартных систем, обслуживаемых оператором. (*Результаты и обсуждение*) Провели расчеты и дали сравнительную оценку продолжительности циклов обслуживания животных в автоматизированных и роботизированных доильных залах различной конфигурации: «Веер», «Елочка», «Параллель». Для снижения капиталоемкости роботизированных установок, повышения уровня поточности выполнения технологических операций, сокращения времени на обслуживание животных предложили систему роботизированной санации животных при входе в доильный зал. Доказали, что внедрение предложенной конфигурации роботизированных доильных залов позволит снизить капиталоемкость оборудования по сравнению однобоксовыми моделями роботизированных постов доения. Отметим преимущества подобных систем: общую инфраструктуру компонентной базы (молокопроводы, молокоприемники, автомат промывки и др.) и исключение разделения на отдельные потоки. (*Выводы*) Выявили оптимальное соотношение количества доильных постов и санпунктов – 13:1. Доказали, что оно обеспечивает максимальную производительность труда роботизированного доильного зала. По результатам теоретических расчетов определили, что предлагаемые схемы роботизации доильных залов превышают производительность существующих одноместных роботизированных постов доения.

Ключевые слова: молочная ферма, доильный зал, роботизация доения, роботизированная санация животных.

■ **Для цитирования:** Рузин С.С., Владимиров Ф.Е., Юрочка С.С., Довгерд Г.А. Обоснование технологических схем и параметров роботизированных доильных залов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №3. С. 20-26. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-3-20-26.

Justification of Technological Schemes and Parameters of Robotic Milking Parlors

Semen S. Ruzin¹,
junior researcher, postgraduate student;
Fedor E. Vladimirov¹,
junior researcher, postgraduate student;

Sergey S. Yurochka¹,
junior researcher, postgraduate student;
Gleb A. Dovgerd²,
postgraduate student

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

²Moscow aviation Institute (national research University), Moscow, Russian Federation

Abstract. The creation of compact robotic milking manipulators involves their use not only in single-box robotic milking stations (monobox), but also in milking parlors such as “Parallel” or “Carousel” with a capacity of up to simultaneously milking 120



heads. (*Research purpose*) To substantiate milking parlors technological schemes and options for their use on livestock farms of various capacities. (*Materials and methods*) The authors studied the organizing experience of machine and robot milking system for cattle in the Russian Federation and foreign countries, leading in milk production. They analyzed the assortment of machines for dairy farming. Based on the results of simulation in the Any Logic software, they proposed the concepts of robotic milking systems. They compared the throughput when performing milking service operations with robotic types of milking machines and standard systems operated by the manipulator. (*Results and discussion*) The authors performed calculations and gave a comparative assessment of the duration of the service cycles for animals in automated and robotic milking parlors of various configurations: “Fan”, “Herring-bone”, “Parallel”. To reduce the capital intensity of robotic facilities, to increase the level of production process execution accuracy, to reduce the time required to service animals, a robotic animal sanitation system was proposed at the entrance to the milking parlor. The authors proved that the introduction of the proposed configuration of robotic milking parlors would reduce the capital intensity of equipment in comparison with single-box models of robotic milking stations. They noted the advantages of such systems: the general infrastructure of the component base (milk pipelines, milk receivers, automatic rinsing, etc.) and was not separated by different streams. (*Conclusions*) The authors revealed the optimal ratio of the number of milking posts and medical stations – 13:1. It was proved that it provided maximum labor productivity for a robotic milking parlor. According to the results of theoretical calculations, it was determined that the proposed robotics schemes for milking parlors exceed the productivity of existing single-box robotic milking stations.

Keywords: dairy farm, milking parlor, robotic milking, robotic sanitation of animals.

For citation: Ruzin S.S., Vladimirov F.E., Yurochka S.S., Dovgerd G.A. Obosnovanie tekhnologicheskikh skhem i parametrov robotizirovannykh doil'nykh zalov [Justification of technological schemes and parameters of robotic milking parlors]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N3. 20-26 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-3-20-26.

Создание компактных роботизированных манипуляторов доения предполагает их использование не только в монобоксах, но и в доильных залах. Примером тому стала разработанная фирмой *GEA Farm* (Германия) роботизированная доильная установка «Карусель», где роботизированный доильный модуль установлен в секционной перегородке каждого доильного стойла [1-6].

Есть и другие варианты и технологические схемы роботизированных доильных залов. Например, компания *Lemmer-Fullwood* предлагает концепцию доильного зала с 10 роботами, установленными параллельно в виде полукольца [7-9]. Такие доильные установки в свое время были разработаны в СССР и имели форму веера. Из теории поточно-технологических линий известно, что многопоточный конвейер имеет большую пропускную способность, чем однопоточный. Доильная установка «Карусель» представляет собой однопоточный конвейер. Ее пропускная способность определяется продолжительностью впуска животных, окружной скоростью вращения платформы и числом станкомест [10-12]. Все эти параметры в автоматизированных и роботизированных карусельных установках должны быть согласованы. Решающее значение имеет продолжительность доения одной коровы. Если животное тугодойное, то скорость конвейера замедляется или даже приостанавливается, а в отдельных случаях корова перенаправляется на второй круг [13]. В многопоточных доильных установках параллельно-проходного типа продолжительность доения будет влиять только на эффективность отдельно взятого станка. Чем выше удельная производительность, тем меньше потребуется станков. Этот

показатель может достигать 7,5-8 гол./ч, но в установках типа «Елочка» и «Карусель» он не превышает 4-4,5 голов на один станок [14-16].

С целью оптимизации параметров роботизированных залов необходимо провести обоснование и исследование технологических схем и вариантов их использования на фермах различной вместимости.

Учитывая наметившуюся тенденцию к роботизации молочных ферм, необходимо проанализировать возможные пути оптимизации капиталоемкости при строительстве и вводе в эксплуатацию, эффективного обслуживания животных, полагая, что распространение монобоксных моделей доильных роботов для крупных ферм не эффективно по сравнению с традиционными доильными залами.

К тому же потенциал существующих технологий позволяет роботизировать доильные залы любой конфигурации, расположив в них параллельно проходные станки и забетонировав траншею, а на входе установить роботизированный станок для очистки вымени. Объединенные таким образом роботизированные станки могут иметь общую инфраструктуру и компонентную базу (молокопроводы, молокоприемники, автомат промывки и др.), что позволит в целом снизить капитальность роботизации многоместного доильного зала [17-20].

Цель исследования – обосновать технологические схемы доильных залов и варианты их использования на животноводческих фермах различной вместимости.

Методы и материалы. Схемы автоматизированных доильных установок с последовательным впуском-выпуском животных определяются прежде все-

го удобством их обслуживания оператором: или он переходит от одного станка к другому («Елочка»), или станки перемещаются мимо него («Карусель»).

Мы изучили опыт организации системы машинного и роботизированного доения крупного рогатого скота в Российской Федерации и зарубежных странах, лидирующих по уровню производства молока. Проанализировали ассортимент машин для молочного животноводства, а также результаты имитационного моделирования в среде *Any Logic*. Сравнили пропускную способность при выполнении операций доения роботизированными типами доильных установок и стандартных систем, обслуживаемых оператором.

Результаты и обсуждение. Предлагаемые схемы роботизированных доильных залов отличаются от стандартных тем, что роботы не перемещаются, и коровы могут добровольно посещать пост доения, заходить в параллельные станки для самообслуживания животных (рисунок).

Схемы этих установок отличаются от известных систем независимым впуском-выпуском животных в каждый доильный станок. В этой связи следует ожидать повышение пропускной способности по сравнению с традиционными «Каруселью», «Параллелью» или «Елочкой», где происходит последовательное заполнение станков и обслуживание животных оператором.

Продолжительность цикла обслуживания в традиционных групповых станках типа «Елочка» определяется по зависимости:

$$t_{ци}^{EA} = t_{вп.-вып.}^{EA} + t_{p0} \cdot n + t_{gn}, \quad (1)$$

где $t_{вп.-вып.}^{EA}$ – продолжительность впуска-выпуска в групповой станок на автоматизированной установке «Елочка»;

t_{p0} – продолжительность выполнения ручных операций оператором на 1 корову, мин;

t_{gn} – время ожидания выдаивания последней коровы (5-7 мин),

n – число мест доения в групповом станке.

Существует вероятность, что в n -ом цикле выпуск животных будет «тормозить» тугодойная корова, а не обязательно крайняя. Но в целом для сравнительной оценки эта формула вполне приемлема.

Таким образом, производительность автоматизированных доильных установок типа «Елочка» определяется из выражения:

$$Q_{оу}^{EA} = \frac{60}{t_{ци}^{EA}}. \quad (2)$$

Аналогичным образом можно вычислить пропускную способность автоматизированной доильной установки «Параллель», с той лишь разницей, что продолжительность цикла группового обслуживания ко-

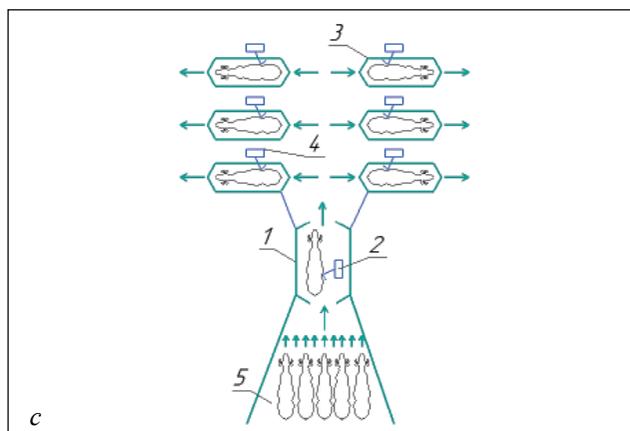
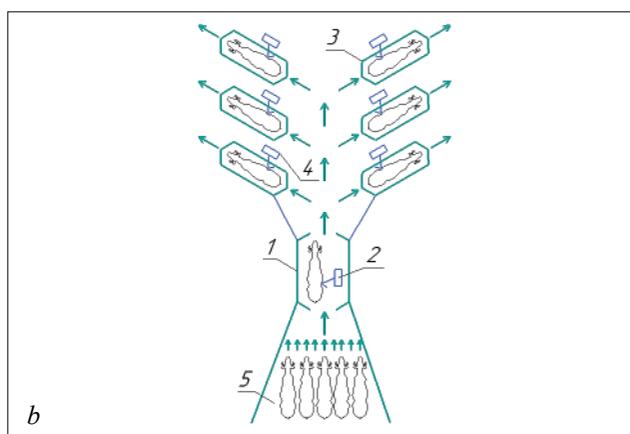
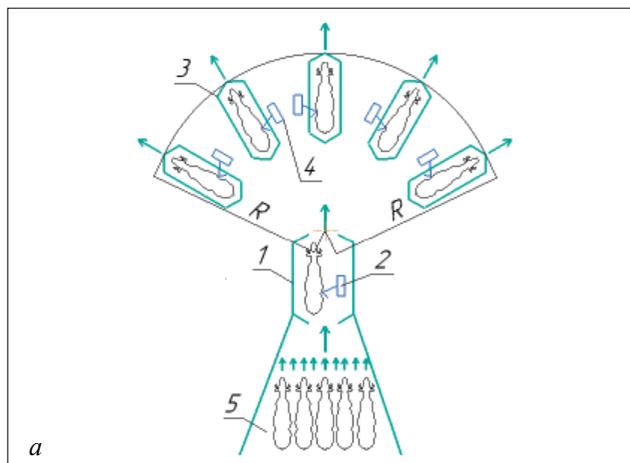


Рис. Технологические схемы роботизированных доильных залов

a – «Веер»; b – «Елочка»; c – «Параллель»

1 – пост санации вымени обслуживаемых животных, 2 – автоматический манипулятор для очистки сосков вымени, 3 – роботизированный пост доения с автоматическим манипулятором, 4 – автоматический манипулятор доения, 5 – накопитель

Fig. Technological schemes of robotic milking parlors
 a – "Fan"; b – "Herring-bone"; c – "Parallel"

1 – sanitation post of the serviced animals udder, 2 – automatic manipulator for cleaning the udder nipples, 3 – robotic milking post with an automatic manipulator, 4 – automatic milking manipulator, 5 – storage



ров будет короче из-за одновременного выпуска и меньшего числа переходов:

$$Q_{\text{дв}}^{\text{II}} = \frac{60}{t_{\text{дв}}^{\text{II}}} \quad (3)$$

Производительность автоматизированной «Карусели» определяют по формуле:

$$Q_{\text{дв}}^{\text{K}} = \frac{60 \cdot n_{\text{CT}}}{\tau_{\text{об}}} \quad (4)$$

$\tau_{\text{об}}$ – продолжительность одного оборота платформы, мин;

n_{CT} – число постов доения в доильной установке.

Рассмотрим аналогичные показатели роботизированных систем доения (рисунк).

Необходимо определить продолжительность цикла обслуживания каждого индивидуального станка, поскольку он может быть занят независимо от других. Для схемы роботизированной «Елочки» будем иметь:

$$t_{\text{ци}}^{\text{EP}} = t_{\text{вп-вып}}^{\text{EP}} + t_p + t_g \quad (5)$$

где $t_{\text{вп-вып}}^{\text{EP}}$ – среднее время продолжительности впуска-выпуска коров в индивидуальный станок, мин;

t_p – продолжительность подготовки вымени (обмыв) роботом и подключение доильных стаканов, мин;

t_g – время выдаивания коровы (5-7 мин).

Чтобы сравнить продолжительность циклов обслуживания для получения сопоставимых результатов, рассмотрим выражение (5) аналогично выражению (1) для n станков:

$$t_{\text{ци}}^{\text{EP}} = t_{\text{вп-вып}}^{\text{EP}} \cdot n + t_p + t_d \quad (6)$$

Можно предположить, что величины группового впуска-выпуска в выражении (1) и в выражении (6) будут практически одинаковы:

$$t_{\text{вп-вып}}^{\text{EP}} \cdot n = t_{\text{вп-вып}}^{\text{EA}} \quad (7)$$

То есть суммарный выпуск-впуск в n роботизированных станках будет мало отличаться от аналогичного показателя на автоматизированной «Елочке».

А вот второй член уравнения (1) – $t_p \cdot n$ – будет отличаться от аналогичного выражения t_p в роботизированных станках в n раз: в автоматизированном варианте один оператор n раз выполняет операции преддоильной подготовки вымени, а в роботизированных станках эти операции одновременно выполняют n роботов.

Следует заметить, что робот выполняет операцию 30-60 с, а человек – 10-15 с. При этом не осуществляется качественная стимуляция рефлекса молокоотда-

чи, и возможны связанные с холостым доением маститы.

Даже если принять максимальные оценки t_p , то и в том и другом случае уже на 4-м станке произойдет выравнивание, а начиная с 5-го станка в работах коровы начнут доиться раньше, чем в традиционной «Елочке» в соответствующих станках. Соответственно, цикл обслуживания животных в автоматизированном групповом станке затянется по сравнению с роботизированными индивидуальными станками.

Введем коэффициент k , показывающий соотношение продолжительности выполнения ручных операций оператором-роботом:

$$k = \frac{t_p}{t_{p0}} \quad (8)$$

Подставим данное выражения в формулу (1):

$$t_{\text{ци}}^{\text{EP}} = t_{\text{вп-вып}}^{\text{EP}} + t_{p0} \cdot n + t_d \quad (9)$$

Сравним полученные выражения с $t_{\text{ци}}^{\text{EP}}$ из (6).

Вычислим разность продолжительности групповых циклов обслуживания:

$$\begin{aligned} \Delta t_{\text{ци}}^E &= t_{\text{ци}}^{\text{EA}} - t_{\text{ци}}^{\text{EP}} = \\ &= t_{gn} - (t_{\text{вп-вып}}^{\text{EP}} \cdot n + kt_{p0} + t_g). \end{aligned} \quad (10)$$

Учитывая выражение (7) и равенство t_{gn} и t_g , получим:

$$\Delta t_{\text{ци}}^E = t_{p0} \cdot (n - k). \quad (11)$$

Данное выражение показывает, насколько длиннее цикл обслуживания в групповом станке автоматизированной «Елочке» по сравнению с аналогичным показателем в n роботизированных индивидуальных станках.

В качестве примера расчета возьмем $t_{p0} = 60$ с;

$$n = 8; k = \frac{t_p}{t_{p0}} = \frac{60}{15} = 4.$$

Тогда получим:

$$\Delta t_{\text{ци}}^E = 15 \cdot (8 - 4) = 60 \text{ с.} \quad (12)$$

При сокращении до 30 с времени выполнения роботом замещаемых ручных операций $k = 2$, тогда:

$$t_{\text{ци}}^E = 15(8 - 2) = 90 \text{ с.} \quad (13)$$

Если увеличить число мест доения до $n = 12$, то разница между роботизированными и автоматизированными доильными залами также будет возрастать:

$$t_{\text{ци}}^E = 15(12 - 2) = 150 \text{ с.} \quad (14)$$

Для двухсторонних залов показатели в выражении

ях (12), (13) и (14) удвоятся.

Таким образом, следует ожидать роста производительности труда на 20-25% в роботизированных доильных залах по сравнению с автоматизированными.

Что касается сравнения с роботизированной и автоматизированной «Каруселью», то здесь не следует ожидать каких-либо изменений. Поскольку сохраняются последовательный выпуск животных и продолжительность выдаивания, то параметр останется практически неизменным:

$$\begin{cases} \tau_{od}^{KA} = t_p + t_g \\ \tau_{ob}^{KP} = t_p + t_g = k \cdot t_{po} + t_g = 2t_{po} + t_g \end{cases} \quad (15)$$

Увеличение производительности t_p по сравнению с t_{po} даже в 2-3 раза (до 45 с) будет мало существенным по сравнению с продолжительностью оборота платформы $\tau = 15$ мин.

Поэтому пропускная способность роботизированной карусели практически не изменится по сравнению с автоматизированной (при равном числе станков-мест соответственно).

Однако капитализация роботизированных мест доения до 60 и 80 по сравнению с автоматизированными возрастет кратно и сделает такую технологию малодоступной.

Очевидно, нужно искать альтернативные решения (рисунк). На входе предложенных установок целесообразно установить роботизированные санпункты для очистки вымени и сосков (или только сосков). Это позволит исключить скопление животных в направлении освобожденного доильного станка, а также уменьшить параметр t_p , что, как видим, сильно влияет на продолжительность цикла обслуживания животных.

Представим продолжительность подготовки вымени в работе в виде двух составляющих:

$$t_p = t_p^{пв} + t_p^{dc}, \quad (16)$$

где $t_p^{пв}$ – продолжительность подготовки вымени (очистки сосков), с;

t_p^{dc} – продолжительность подключения доильных стаканов, с.

В одних роботах эти операции выполняются одновременно с надеванием стаканов (*GEA Farm*), в других раздельно (*Leli*). В любом случае это удлиняет продолжительность цикла их обслуживания на величину $\Delta t = 20-30$ с.

В роботизированных залах эту операцию можно делать в специальном станке – роботизированном санпункте. Возможно, это не сильно повлияет на пропускную способность, но точно позволит сократить капиталоемкость доильных роботов, когда на каждой руке устанавливается механизм со щетками, к тому же существенно позволит снизить неопределенность

животных с заходом в освободившихся доильный станок. Кроме того, санпункт может быть совмещен с селекционными воротами, которые могут быть установлены на входе в доильный зал для реализации определенных схем обслуживания (кормление перед доением, отбраковка больных маститом коров, животных перед запуском и др.)

Производительность такого роботизированного санпункта можно определить из выражения:

$$Q_{c.n}^p = \frac{60}{t_{ц}^{cn}}, \quad (17)$$

где $t_{ц}^{cn}$ – продолжительность цикла обслуживания одной коровы в роботизированном санпункте:

$$t_{ц}^{cn} = t_{вп-вып}^{cn} + t_{п.в.}^{cn}, \quad (18)$$

где $t_{вп-вып}^{cn}$ – продолжительность выпуска-выпуска животного в станок (5-7 с);

$t_{п.в.}^{cn}$ – продолжительность очистки сосков вымени (15-20 с).

Число роботизированных доильных станков, обслуживаемых одним санпунктом, равно:

$$n_{cm}^p = \frac{Q_{c.n}^p}{Q_{d.cm}^p}, \quad (19)$$

где $Q_{d.cm}^p$ – производительность одного роботизированного доильного станка:

$$Q_{d.cm}^p = \frac{60}{t_{ц,cm}^p}, \quad (20)$$

где $t_{ц,cm}^p = t_p^{dc} + td$.

Тогда:

$$n_{cm}^p = \frac{t_p^{dc} + td}{t_{ц}^{cn}}. \quad (22)$$

Если $c = 30/tg = 5-7$ мин, а $t_{ц}^{cn} = 25-30$, то получим: $n_{cm}^p = (0,5+6)/0,5 = 13$.

Выводы

Комплекс расчетно-графических исследований позволил обосновать оптимальное количество роботизированных доильных постов в составе доильного зала – 13, а также необходимость одного санпункта.

Предложили концепцию роботизированного доения, благодаря которой можно существенно снизить относительное время обслуживания группы животных в сравнении с традиционными способами, где роботизированный манипулятор осуществляет не только очистку вымени, но и надевание доильных стаканов.

Показали перспективность методики эффективной роботизации мегакомплексов с содержанием продуктивных животных от 1200 голов, с одновременным увеличением роботизированных санпунктов и постов доения.



БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Подобедов П.Н., Никитин Е.А. Направления исследований в создании автоматизированных систем почетвертного доения для станочных доильных установок // *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. 2017. N4(28). С. 16-20.
2. Rodenburg J. Robotic milking: Technology, farm design, and effects on work flow. *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 9. 7729-7738.
3. Salfer J.A., Minegishi K., Lazarus W., Berning E., Endres M.I. Finances and returns for robotic dairies. *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 9. 7739-7749.
4. Verdes Sonia, Trillo Yolanda, Pena Ana. Relationship between quality of facilities, animal-based welfare indicators and measures of reproductive and productive performances on dairy farms in the northwest of Spain. *Italian Journal of Animal Science*. 2020. Vol. 19. Iss. 1. 319-329.
5. Suchocki T, Egger-Danner Ch, Schwarzenbacher H. Two-stage genome-wide association study for the identification of causal variants underlying hoof disorders in cattle. *Journal of Dairy Science*. 2020. May. Vol. 103. Iss. 5. 4483-4494.
6. Dominguez-Castano Pablo, Vargas de Oliveira, Matheus Henrique El, Faro Lenira. Relationship between reproductive and productive traits in Holstein cattle using multivariate analysis. *Reproduction In Domestic Animals*. 2020. Jul. Vol. 7. 770-776.
7. Drach U., Halachmi I., Pnini T., Izhaki I., Degani A. Automatic herding reduces labour and increases milking frequency in robotic milking. *Biosystems Engineering*. 2017. Vol. 155. 134-141.
8. Bear C., Holloway L. Beyond resistance: Geographies of divergent more-than-human conduct in robotic milking. *Geoforum*. 2019. Vol. 104. 212-221.
9. King M.T.M., DeVries T.J. Graduate Student Literature Review: Detecting health disorders using data from automatic milking systems and associated technologies. *Journal of Dairy Science*. 2018. Vol. 9. 8605-8614.
10. Никитин Е.А. Разработка автоматизированной системы персонального дозирования концентрированных кормов для крупного рогатого скота // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019. N3(32). С. 80-86.
11. Иванов Ю.Г., Голубятников В.А., Сидоренко М.С. Дистанционный контроль сигналов коров // *Сельский механизатор*. 2015. N10. С. 26-27.
12. Иванов Ю.Г., Габдуллин Г.Г., Атаманкина Л.Н. Обоснование структурной схемы получения высококачественного молока с индивидуальными особенностями коров на роботизированных фермах // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2018. N3(28). С. 561-570.
13. Maculan R., Lopes M.A. Robotic milking of dairy cows: A review. *Boletim De Industria Animal*. 2016. Vol. 1. 80-87.
14. Cordova H.D., Alessio D.R., Cardozo L.L., Thaler A. Impact of the factors of animal production and welfare on robotic milking frequency. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 2018. Vol. 2. 238-246.
15. Gasqui P., Trommenschlager J.M. A new standard model for milk yield in dairy cows based on udder physiology at the milking-session level. *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7. Article number: 8897.
16. Mottram T. Animal board invited review: precision livestock farming for dairy cows with a focus on oestrus detection. *Animal*. 2016. Vol. 10. 1575-1584.
17. Stojkov J. von Keyserlingk M. A. G. Duffield T. Fitness for transport of cull dairy cows at livestock markets. *Journal of Dairy Science*. 2020. MAR. Vol. 103. Iss. 3. 2650-2661.
18. Никитин Е.А., Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю. Обоснование структурно-кинематических схем автоматических манипуляторов для почетвертного доения // *Труды ГОСНИТИ*. 2017. Т. 128. С. 112-117.
19. Дорохов А.С., Бельшикина М.Е. Концепция формирования инновационного агропромышленного соевого кластера в дальневосточном регионе // *Аграрная Россия*. 2020. N3. С. 41-48.
20. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Краусп В.Р., Ковалев Д.А., Гусаров В.А., Горшков Д.М. Цифровая электророботизированная технология кормления, содержания и воспроизводства стада на 3000 голов КРС // *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. 2019. N1(33). С. 37-44.

REFERENCES

1. Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu., Podobedov P.N., Nikitin E.A. Napravleniya issledovaniy v sozdaniy avtomatizirovannyh sistem pochertvertnogo doeniya dlya stanochnyh doil'nyh ustanovok [Research areas in the development of automated post-turn milking systems for machine milking units]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2017. N4 (28). 16-20 (In Russian).
2. Rodenburg J. Robotic milking: Technology, farm design, and effects on work flow. *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 9. 7729-7738 (In English).
3. Salfer J.A., Minegishi K., Lazarus W., Berning E., Endres M.I. Finances and returns for robotic dairies. *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 9. 7739-7749 (In English).
4. Verdes Sonia, Trillo Yolanda, Pena Ana, Relationship between quality of facilities, animal-based welfare indicators and measures of reproductive and productive performances on dairy farms in the northwest of Spain. *Italian Journal of Animal Science*. 2020. DEC. 14. Vol. 19. Iss. 1. 319-329 (In English).
5. Suchocki T, Egger-Danner Ch, Schwarzenbacher H. Two-stage genome-wide association study for the identification of causal variants underlying hoof disorders in cattle. *Journal of Dairy Science*. 2020. MAY. Vol. 103. Iss. 5. 4483-4494 (In English).
6. Dominguez-Castano Pablo, Vargas de Oliveira, Matheus Henrique El, Faro Lenira. Relationship between reproductive and productive traits in Holstein cattle using multivariate anal-

ysis. *Reproduction in Domestic Animals*. 2020. JUL. Vol. 7. 770-776 (In English).

7. Drach U., Halachmi I., Pnini T., Izhaki I., Degani A. Automatic herding reduces labour and increases milking frequency in robotic milking. *Biosystems Engineering*. 2017. Vol. 155. 134-141 (In English).

8. Bear C., Holloway L. Beyond resistance: Geographies of divergent more-than-human conduct in robotic milking. *Geoforum*. 2019. Vol. 104. 212-221 (In English).

9. King M.T.M., DeVries T.J. Graduate Student Literature Review: Detecting health disorders using data from automatic milking systems and associated technologies. *Journal of Dairy Science*. 2018. Vol. 9. 8605-8614 (In English).

10. Nikitin E.A. Razrabotka avtomatizirovannoy sistemy personal'nogo dozirovaniya koncentrirovannykh kormov dlya krupnogo rogatogo skota [Development of an automated system for personal dosing of concentrated feed for cattle]. *Innovacii v sel'skom hozyaystve*. 2019. N3(32). 80-86 (In Russian).

11. Ivanov Yu.G., Golubyatnikov V.A., Sidorenko M.S. Distancionnyy kontrol' signalov korov [Remote monitoring of cow signals]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2015. N10. 26-27 (In Russian).

12. Ivanov Yu.G., Gabdullin G.G., Atamankina L.N. Obosnovanie strukturnoy skhemy polucheniya vysokokachestvennogo moloka s individual'nymi osobennostyami korov na robotizirovannykh fermah [Substantiation of the structural scheme for obtaining high-quality milk with individual characteristics of cows on robotic farms]. *Innovacii v sel'skom hozyaystve*. 2018. N3(28). 561-570 (In Russian).

13. Maculan R., Lopes M.A. Robotic milking of dairy cows: A review. *Boletim De Industria Animal*. 2016. Vol. 1. 80-87 (In English).

14. Cordova H.D., Alessio D.R., Cardozo L.L., Thaler A. Impact of the factors of animal production and welfare on robotic

milking frequency. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 2018. Vol. 2. 238-246 (In English).

15. Gasqui P., Trommenschlager, JM. A new standard model for milk yield in dairy cows based on udder physiology at the milking-session level. *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7 Article number: 8897 (In English).

16. Mottram T. Animal board invited review: precision livestock farming for dairy cows with a focus on oestrus detection. *Animal*. 2016. Vol. 10. 1575-1584 (In English).

17. Stojkov J. von Keyserlingk M. A. G. Duffield T. Fitness for transport of cull dairy cows at livestock markets. *Journal of Dairy Science*. 2020. MAR. Vol. 103. Iss. 3. 2650-2661 (In English).

18. Nikitin E.A., Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu. Obosnovanie strukturno-kinematicheskikh skhem avtomaticheskikh manipulyatorov dlya pochetvertnogo doeniya [Justification of structural and kinematic schemes of automatic manipulators for post-reverse milking]. *Trudy GOSNITI*. 2017. Vol. 128. 112-117 (In Russian).

19. Dorohov A.S., Belyshkina M.E. Konceptsiya formirovaniya innovacionnogo agropromyshlennogo soevogo klastera v dal'nevostochnom regione [The concept of forming an innovative agro-industrial soy cluster in the far Eastern region]. *Agrarnaya Rossiya*. 2020. N3. 41-48 (In Russian).

20. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Krausp V.R., Kovaliev D.A., Gusarov V.A., Gorshkov D.M. Cifrovaya elektrobotizirovannaya tekhnologiya kormleniya, sodержaniya i vosproizvodstva stada na 3000 golov KRS [Digital electro-robotic technology for feeding, maintaining and reproducing a herd of 3000 head of cattle]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizacii zhivotnovodstva*. 2019. N1(33). 37-44 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

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

**Статья принята к публикации 06.08.2020
The paper was accepted
for publication on 06.08.2020**



Тенденции развития биотехнических систем в животноводстве

Владимир Вячеславович Кирсанов,
доктор технических наук,
главный научный сотрудник;

Юрий Алексеевич Цой,
член-корреспондент РАН,
доктор технических наук, главный научный
сотрудник, e-mail: femaks@bk.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Понятие биотехнических систем относится к классу человеко-машинных систем или систем «Человек–машина–растение», «Человек–машина–животное», последние относятся к сельскому хозяйству и отрасли животноводства, в частности. В сельскохозяйственном производстве биотехнические системы обладают свойствами бимодальности, когда присутствуют два и более биологических объекта, человек как управляющий оператор и объект обслуживания (растения, животные). (*Цель исследования*) Проанализировать тенденции развития биомашинных и технических систем с целью дальнейшей интеллектуализации и цифровой трансформации сельскохозяйственного производства. (*Материалы и методы*) Отметим, что в исследовании человеко-машинных систем существует два подхода: антропоцентрический и машиноцентрический; первый решающую роль отводит человеку, второй – машине. (*Результаты и обсуждение*) Рассмотрели функционалы подсистем «Человека» и «Машины»; часть функций человека-оператора будут постепенно передавать «Машине», а человек-оператор будет трансформирован в человека-эксперта и человека-пользователя. Разработали схему интеллектуальной биотехнической системы в животноводстве, определили коэффициенты адаптации локальных автоматизированных и роботизированных биотехнических систем к биологическим объектам. Создали схему функционирования локальных биотехнических систем в частично автономном режиме мультиагентного управления, выявили критерии оценки функционирования локальных биотехнических систем. (*Выводы*) Необходимо усиление «машинного» фактора на основе развивающейся машиноцентрической модели и преобразования сложной трехзвенной биотехнической системы в животноводстве в двухзвенную с поляризацией подсистем «Человек-эксперт», «Человек-пользователь» и «Машина-животное», при этом последняя вбирает в себя все больше интеллектуальных функций, переданных «Человеком», за которым сохраняется контроль, координация и управление всей системой.

Ключевые слова: биотехническая система, биомашсистема, локальная биотехническая система, уровни адаптации, машиноцентрическая модель, человек-оператор, человек-пользователь, человек-эксперт.

■ **Для цитирования:** Кирсанов В.В., Цой Ю.А. Тенденции развития биотехнических систем в животноводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №3. С. 27-32. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-3-27-32.

Trends in the Development of Biotechnical Systems in Animal Husbandry

Vladimir V. Kirsanov,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher;

Yuriy A. Tsoy,
corresponding member of RAS, Dr.Sc.(Eng.),
chief researcher, e-mail: femaks@bk.ru;

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The concept of biotechnical systems belongs to the class of human-machine systems or human-machine-plant systems, human-machine-animal systems. The latter relate to agriculture and the livestock industry. In agricultural production, biotechnical systems have the properties of bimodality, when there are two or more biological objects, a person as a managing operator and a service object (plants, animals). (*Research purpose*) The research purpose is in analyzing trends in the development of biomachine and technical systems in order to further intellectualize and digitalize agricultural production. (*Materials and methods*) There are two approaches in the study of human-machine systems: anthropocentric and machine-centric; the first one assigns a crucial role to the person, the second one – to the machine. (*Results and discussion*) The article presents the functionality of the Human and Machine subsystems. Part of the functions of the Human operator will gradually be transferred to the Machine, and the Human operator will be transformed into a human Expert and a human User. The article presents a scheme for an intelligent biotechnical system in animal husbandry, and determines the coefficients of adaptation of local automated and robotic biotechnical systems to biological objects. Authors have created a scheme for the functioning of local biotechnical systems in a partially autonomous multi-agent control mode,

and identifies criteria for evaluating the functioning of local biotechnical systems. (*Conclusions*) We need to strengthen the Machine factor on the basis of developing machine-centric models and convert complex three-tier system of biotech in animal husbandry in two-tier with the polarization of the human Expert, human User and Machine–Animal subsystems. The latter absorbs more and more intelligent functions that are passed by a Man, for which it retained control, coordination and management of the entire system.

Keywords. biotechnical system, biomachine system, local biotechnological system, adaptation levels, machine-centric model, human operator, human user, human expert.

For citation: Kirsanov V.V., Tsoy Yu.A. Tendentsii razvitiya biotekhnicheskikh sistem v zhivotnovodstve [Trends in the development of biotechnical systems in animal husbandry]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N3. 27-32 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-3-27-32.

Понятие биотехнических систем входит в класс человеко-машинных систем или систем «Человек–машина–растение», «Человек–машина–животное», последние относятся к сельскому хозяйству, и в частности к отрасли животноводства. В сельскохозяйственном производстве биотехнические системы обладают свойствами бимодальности, когда присутствуют два и более биологических объекта, человек как управляющий оператор и объект обслуживания (растения, животных). Кроме того, объединяющей средой этих биологических объектов служит тоже биологический объект – поле (почва) как основной источник энергии для растений и животных.

Процесс преобразования энергии в сельскохозяйственном производстве рассмотрен в классических трудах академика В.П. Горячкина, в которых он рассматривает три составляющих этого процесса: источник энергии (солнце, атмосфера), накопитель энергии (аккумулятор – почва), приемник энергии (потребитель) – растения, животные [1]. Эти труды имеют неограниченное значение для развития теории и практики создания новой техники для сельскохозяйственного производства, перевода ее проектирования на научную основу. По мере усложнения машинных технологий формировались и развивались научные методы их обоснования и расчета, рассматривались не только отдельные рабочие органы, но и агрегаты в целом, влияющие на качество обслуживания и состояние биологических объектов (экологию), сформировался кластер человеко-машинных систем [2]. Применительно к животноводству используется термин биотехнические системы – БТС. Такой термин использует в своих трудах Л.П. Карташов, изучая процесс взаимодействия исполнительных механизмов доильной техники с выменем коровы [3]. Известны труды по функциональным системам в области медицины, выполненные П.К. Анохиным [4]. Профессор В.М. Ахутин (1975 г.) предложил термин «Биотехнические системы для выделения особого класса больших систем, представляющих собой совокупность биологических и технических элементов, связанных между собой в едином контуре управления» [5].

В настоящее время под руководством академика РАН В.И. Черноиванова ведут исследования в данном

направлении, введено новое понятие «Биомашсистема», точнее отражающее взаимодействие машин и агрегатов в сельскохозяйственном производстве с биологическими объектами [6]. В животноводстве часто используется термин «Оборудование». К классическим самоходным машинам можно отнести кормоприготовительные и раздающие агрегаты, поэтому здесь очевидно применимы как терминология БТС, так и «Биомашсистемы». С развитием средств автоматизации, информатизации производства возрастает роль и значение систематизации знаний и управления сложными биотехническими и машинными комплексами, особенно это касается такой важной отрасли, как животноводство [7].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ – проанализировать тенденции развития биомашинных и технических систем с целью дальнейшей интеллектуализации и цифровой трансформации сельскохозяйственного производства [8].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В исследовании человеко-машинных систем существует два подхода: антропоцентрический и машиноцентрический [9]. Первый предполагает и отводит решающую роль человеку, второй – машине. Безусловно роль человека в системе «Человек–машина–животное» не только сохраняется, но и возрастает.

Однако с развитием средств автоматизации функции человека-оператора (ЧО) будут постепенно замещаться человеком-экспертом (ЧЭ) и человеком-пользователем (ЧП) [10]. Общий функционал подсистемы «Человек» можно представить в виде суммы функционалов:

$$Z_{\text{ч}} = f[\text{ЧО}] + f[\text{ЧЭ}] + f[\text{ЧП}], \quad (1)$$

при этом $f[\text{ЧО}]$ стремится к минимуму в автоматических системах, одновременно возрастает роль накопленных человеческих знаний в моделях и алгоритмах и их передача функционалам $f[\text{ЧЭ}]$ и $f[\text{ЧП}]$ [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. На первом этапе ручные функции управления будут переданы машине, а также будет постепенно происходить передача интеллектуальных функций оператора машине (автомату), при этом за человеком останется контроль и корректировка машинных алгоритмов, моделей поведения животных и др. Функционал «Машины» будет повышаться.



$$Z_{(M)} = f[\text{ЧО}, x_{1p} \dots x_{np}] + f[\text{ЧО}, y_{1n} \dots y_{nn}] + f[M, z_{m1} \dots z_{mn}] + f[\text{Ж}, y_{ж1} \dots y_{жn}] \quad (2)$$

где $Z_{(M)}$ – полный функционал машины; $f[\text{ЧО}, x_{1p} \dots x_{np}]$ – функционал замещаемых ручных операций человека-оператора, переданных машине (автомату); $f[\text{ЧО}, y_{1n} \dots y_{nn}]$ – функционал части простых интеллектуальных функций ЧО, переданных машине М (контроль, анализ, управление) за исключением интуиции; $f[\text{Ж}, y_{ж1} \dots y_{жn}]$ – функционал параметров животных, ранее контролируемых человеком-оператором: контроль припуска молокоотдачи, половой охоты, заболеваемость маститами – и переданных машине.

В связи с этим роль «машинного» фактора в современных агротехнологиях будет возрастать [12]. За человеком в основном будут закрепляться функции ЧП и ЧЭ. На основе «слабого» нейросетевого искусственного интеллекта машина будет постепенно обучаться относительно простым функциям адаптации к биологическим объектам: количество и качество потребляемого корма, измерение удоя и полноты выдаивания, контроль заболевания и лечения. На первом этапе интеллектуализации производства будет возрастать информационная составляющая, отражающая взаимодействие подсистемы «Машина–животное» (М–Ж). И машина с помощью своих сенсоров будет наблюдать и сигнализировать о возникших неполадках в подсистеме М–Ж: снизились надои, возник ацидоз рубца желудка коровы и т.д [13]. Сигналы будут поступать через соответствующие базовые станции в автоматизированные рабочие места человеку-эксперту: профильным специалистом (ветврачу, зооинженеру и др.), которые станут их изучать, сравнивать и передавать по обратной связи команды в локальные биотехнические и биомашинные системы ЛБТС (БМС), перенаправлять и повышать уровни их адаптации Y_a (рис. 1).

Уровни адаптации локальных биотехнических систем (доения, поения, кормления и т.д.) можно оценить соответствующими коэффициентами.

$$\begin{cases} Y_{a1} = \frac{N_{a1}}{N_{\Sigma 1}} \\ Y_{an} = \frac{N_{an}}{N_{\Sigma n}} \end{cases}, \quad (3)$$

где N_{a1}, N_{an} – количество показателей в подсистеме МЖ, контролируемых в автоматическом режиме и не требующих вмешательства человека, $N_{\Sigma 1}, N_{\Sigma n}$ – суммарное количество показателей, требующих контроля, для нормальной работы ЛБТС, в том числе со стороны специалистов (ЧЭ, ЧП). При этом функционирование отдельных ЛБТС может не требовать для принятия решения связи с «центром управления» (ЧЭ, ЧП) через соответствующие АРМ и непосредственно передавать сигналы с одной ЛБТС на другую, используя автономные режимы мультиагентного управле-

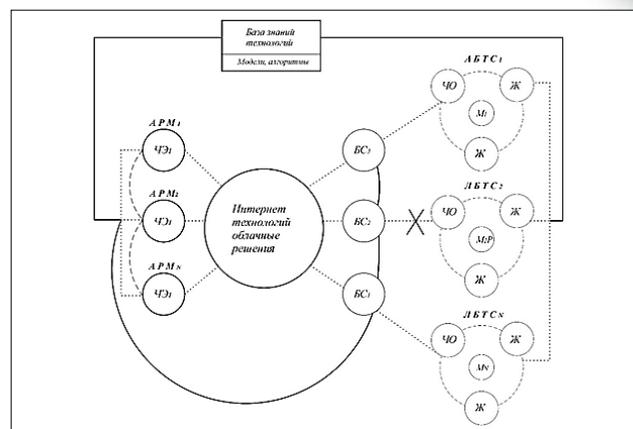


Рис. 1. Структурная схема интеллектуальной БТС

Fig. 1. Block diagram of an intelligent BTS

ния [12-14]. Например, ЛБТСк кормления получают сигнал от ЛБТСД доения об изменившихся условиях функционирования – снизившихся надоях у группы лактирующих животных без изменения показателей их здоровья. Система ЛБТС кормления принимает решение о корректировке рационов кормления, отправляя дублирующий сигнал зоотехнику. В этом случае может работать только I контур локального управления без «захода» в БД и АРМ. Достаточно скорректировать рацион автоматически, знания специалистов не требуются, им можно отправить только SMS-сообщения в виде $(I_{a_i}^d, I_{a_i}^k)$. Аналогичным образом могут работать другие ЛБТС (микроклимат, навозоудаление). Например, меняются параметры микроклимата, повышается загазованность помещения (NH_3, CO_2, H_2S) при работающей системе навозоудаления, включается принудительная система вентиляции, удаляющая избыток вредных газов [15]. То же самое происходит при увеличении температуры воздуха, относительной влажности воздуха в помещении. Сигналы с датчиков животных и помещений поступают в соответствующие ЛБТС (кормления, микроклимата, навозоудаления) и они нормализует ситуацию, увеличивая подачу воздуха, воды, корма и т.д. [16].

Если требуется вмешательство специалистов и локальный уровень взаимодействия не может исправить ситуацию, информационные сигналы проходят в автоматизированные рабочие места АРМ (ЧЭ, ЧП) и профильные специалисты принимают решение, осматривают животных, выделенных подсистемой в отдельные группы. В каждой локальной подсистеме формируется блок тестовых параметров. Измеряются отклонения текущих параметров биологических, машинных объектов и сравниваются с их тестовыми характеристиками, предельными значениями [17, 18]:

$$\begin{cases} \Delta[y_{ж1} \dots y_{жN}]^T \leq \Delta[y_{ж1} \dots y_{жN}]^{доп} \\ \Delta[x_{1p} \dots x_{np}]^T \leq \Delta[x_{1p} \dots x_{np}]^{доп} \\ \Delta[z_{M_1} \dots z_{M_N}]^T \leq \Delta[z_{M_1} \dots z_{M_N}]^{доп} \end{cases} \quad (4)$$

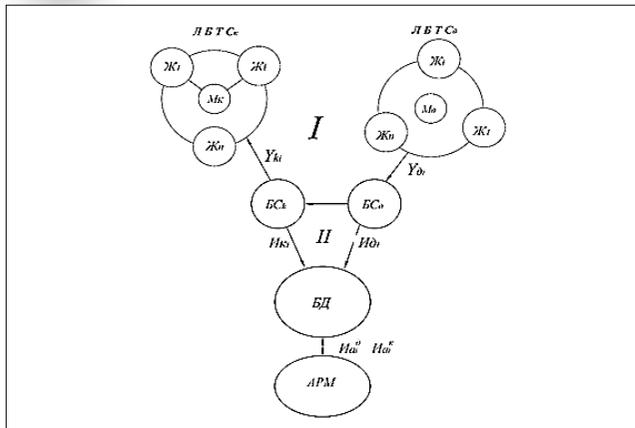


Рис. 2. Функционирование локальных BTS в частично автономном режиме мультиагентного управления:

BS_k, BS_d – базовые станции, передающие сигнал соответственно к ЛБТС кормление и ЛБТС доение; U_{ai}^D, U_{ai}^K – управляющие адаптационные сигналы соответственно от (ЛБТС)_д, (ЛБТС)_к; I_{ai}^D, I_{ai}^K – информационные сигналы, передаваемые через БД (базы данных) на АРМ (ЧЭ, ЧП)

Fig. 2. Functioning of local BTS in partially Autonomous mode of multi-agent management:

BS_k, BS_d – base stations that transmit a signal to LBTС feeding and lbtс milking, respectively; U_{ai}^D, U_{ai}^K – control adaptive signals, respectively, from (LBTС)_д, (LBTС)_к; I_{ai}^D, I_{ai}^K – information signals transmitted through the database (database) on the arm (ChE, PE)

где $\Delta[y_{ж1} \dots y_{жN}]^T, \Delta[y_{ж1} \dots y_{жN}]^{доп}$ – соответственно текущие и допустимые отклонения контролируемых показателей биологических объектов (животных);

$\Delta[X_{1p} \dots X_{np}]^T, \Delta[X_{1p} \dots X_{np}]^{доп}$ – соответственно текущие и допустимые отклонения в режимах работы человека-оператора;

$\Delta[Z_{M1} \dots Z_{MN}]^T, \Delta[Z_{M1} \dots Z_{MN}]^{доп}$ – соответственно текущие и допустимые отклонения в работе «машинного» фактора.

Ввиду сложности и многообразия контролируемых показателей такое группирование даст возможность их отдельного изучения. К показателям первой группы $\Delta[y_{ж1} \dots y_{жN}]$ могут быть отнесены показатели лактации: удои, Q_i , скорость молокоотдачи, V_i , продолжительность доения t_{di} , показатели общего развития (масса тела животных, соотношение жировой, костной, мышечной массы тела, размеры животных, его бонитировочные характеристики и др.).

К показателям здоровья животных могут быть отнесены количество соматических клеток в молоке, аномалии развития репродуктивных органов, конечностей и прочее.

Ко второй группе показателей, характеризующих работу человека-оператора, могут быть отнесены показатели продолжительности выполнения ручных операций по обслуживанию животного t_{po} , интенсивности выполненных ручных операций в единицу времени n_p ; энергоёмкости выполненных операций ε_p .

К группе показателей, характеризующих «машин-

ный» фактор, относится продолжительность цикла обслуживания животных, расходные характеристики раздаваемых, получаемых материалов (корма, навоз, молоко и др.). Таким образом, на современном этапе развития BTS в животноводстве происходит преобразование трехзвенной системы в двухзвенную с поляризацией подсистем ЧЭ, ЧП и подсистемы МЖ (рис. 3).

Происходит поляризация подсистемы М–Ж в локальную машиноцентрическую модель ЛБТС, которая может функционировать с высокой степенью автономности, при этом «полномочия» ЧО передают машине, зона «влияния» антропоцентрического фактора (АЦФ) уменьшается, но одновременно возрастает уровень его интеллектуализации, поскольку ряд

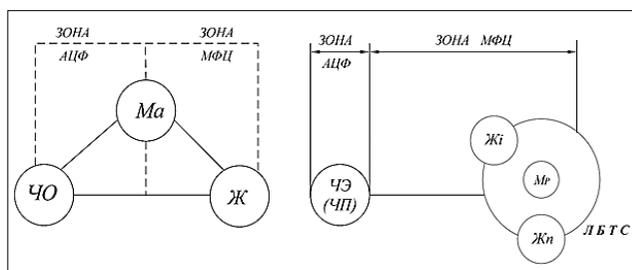


Рис. 3. Процесс преобразования автоматизированной BTS в роботизированную:

a – автоматизированная система ЧО–Ма–Ж; b – роботизированная система ЧЭ(ЧП) – (Мр–Ж)

Fig. 3. the process of converting an automated BTS into a robotic one:

a – automated system ChO–Ma–W; b – robotic system ChE (PE)–(Mr–W)

ручных операций, выполняемых ранее ЧО переходит к машине. Уровень интеллектуализации $V_{и}$ не следует путать с уровнем автоматизации $V_{а}$. Поскольку последний замещает только простые механические операции с ручным управлением. А уровень интеллектуализации включает уровень автоматизации плюс дополнительные визуально-аналитические функции человека-оператора, которые он всегда использовал при оценке взаимодействия подсистемы М–Ж.

Таким образом, формализация уровня интеллектуализации системы Ч–М–Ж может быть представлена:

$$U_{ч-м-ж}^и = U_{ч-м-ж}^а \wedge f [ЧО, y_{и1} \dots y_{ин}], \quad (5)$$

где $U_{ч-м-ж}^и, U_{ч-м-ж}^а$ – соответственно уровни интеллектуализации и автоматизации системы Ч–М–Ж;

\wedge – оператор дезъюнкции (логического сложения);

$f[ЧО, y_{и1} \dots y_{ин}]$ – функционал части простых интеллектуальных функций (ЧО), переданных машин (М). Уровень автоматизации V_a можно вычислить по известной зависимости:

$$U_{ч-м-ж}^а = \frac{K_{ч-м-ж}^а}{K_{ч-м-ж}^а + K_{ч-м-ж}^м}, \quad (6)$$



где $K_{ч-м-ж}^a$, $K_{ч-м-ж}^m$ – соответственно количество автоматизированных и количество механизированных операций в системе Ч–М–Ж.

В автоматизированной системе ЧО–М–Ж человек – оператор работает, непосредственно взаимодействуя с машиной и животным, выполняя известные функции и ручные операции. В роботизированной системе часть ручных и простых интеллектуальных функций ЧО передается машине M_p , а ЧЭ, ЧП остаются функции повышенного аналитического содержания (высокий интеллект, предсказание и др.).

Количество передаваемых машине человеком-оператором интеллектуальных визуально-аналитических операций постоянно увеличивается. Поэтому функционал, обобщающий эти функции, также стремительно возрастает [19]:

$$f=[\text{ЧО}, y_{1n} \dots y_{nn}] \rightarrow \max. \quad (7)$$

Человек-оператор не может объять необъятное, за всем уследить, особенно на крупной ферме, поэтому его задача уже как ЧЭ, ЧП анализировать отчеты, присылаемые с ЛБТС или отдельные «тревожные» сигналы от животных, и вмешиваться в процесс при

«угрожающих» нештатных ситуациях, связанных с аварийными режимами работы машины или болезнями животных и др. [20]. Необходимо рассматривать отдельно целые группы показателей, относящихся к составляющим сложной биомашсистемы, какой является современная молочная ферма.

Выводы. Современная автоматизированная или частично роботизированная молочная ферма представляет собой сложную многоуровневую биомашсистему, включающую частично или полностью автономно работающие локальные биотехнические подсистемы, выполняющие конкретные технологические процессы, подсистемы приема и передачи сигналов животных, машин (базовые станции), информационно-аналитический центр, в составе которого находятся автоматизированные рабочие места главных специалистов, принимающих управляющие решения по тем или иным ситуациям. Развитие биомашсистем в животноводстве базируется на основе расширяющейся машиноцентрической модели подсистемы М–Ж, которая вбирает в себя все больше интеллектуальных функций, переданных человеком; за последним сохраняется контроль, координация и управление всей системой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горячкин В.П. Земледельческая механика Ч. 1: Основы теории земледельческих машин и орудий: 1917-1918. М.: Кнво студентов Петров. с.-х. акад. 1919. 200 с.
2. Черноиванов В.И. Биомашсистемы. Теория и приложения. М.: Росинформагротех. 2016. 214 с.
3. Карташов Л.П., Соловьев С.А., Асманкин Е.Н., Макаровская З.В. Расчет исполнительных механизмов биотехнической системы. Екатеринбург: УрО РАН. 2002. 181 с.
4. Анохин П.К. Узловые вопросы теории функциональных систем. М.: Наука. 1980. 196 с.
5. Попечителей Е.П. Проблемы синтеза биотехнических систем // *Научное обозрение. Технические науки*. 2016. N2. С. 54-62.
6. Черноиванов В.И., Судаков С.К., Толоконников Г.К. Биомашсистемы, функциональные системы и категорная теория систем // *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. 2017. N2(26). С. 23-34.
7. Weibing W. Target Detection And Analysis of Intelligent Agricultural Vehicle Movement Obstacle Based on Panoramic Vision. *Inmateh-Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 58. N3.
8. Архипов А.Г., Косогор С.Н., Моторин О.А., Горбачев М.И., Суворов Г.А., Труфляк Е.В. Цифровая трансформация сельского хозяйства России. М.: Росинформагротех. 2019. 80 с.
9. Доронин А.М., Романов Д.А., Романов М.А. Человеко-машинное взаимодействие и его показатели // *Вестник Адыгейского ГУ*. 2005. N4. С. 244-250.
10. Raju K. L., Vijayaraghavan V. IoT Technologies in Agricultural Environment: A Survey. *Wireless Personal Communica-*
11. Петрин К.В., Теряев Р.Д., Филимонов А.Б., Филимонов Н.Б. Технологии в эргатических системах управления // *Известия Южного Федерального университета. Технические науки*. 2010. N3. С. 7-13.
12. Фисинин В.И., Лачуга Ю.Ф., Жученко А.А., Иванов А.Л., Ушачев И.Г., Ежевский А.А., Краснощеклов Н.В., Черноиванов В.И., Измайлов А.Ю., Стребков Д.С., Попов В.Д. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства на период до 2020 года. М.: Росинформагротех. 2009. 80 с.
13. Voutos Y. et al. A survey on intelligent agricultural information handling methodologies. *Sustainability*. 2019. Vol. 11. N12. 3278.
14. Yang H. et al. Experimental analysis and evaluation of wide residual networks based agricultural disease identification in smart agriculture system. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*. 2019. Vol. 2019. N1. 1-10.
15. Mylostyvyi R.V. et al. Ecological substantiation of the normalization of the state of the air environment in the uninsulated barn in the hot period. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 9. N3. 84-91.
16. Jovović V. et al. Microclimate parameters and ventilation inside the barns in the lowland region of Bosnia and Herzegovina. *Journal of Animal Science of bih*. 2019. Vol. 1. N2. 14-18.
17. Salimi M., Pourdarbani R., Nouri B. A. Factors Affecting the Adoption of Agricultural Automation Using Davis's Acceptance Model (Case Study: Ardabil). *Acta Technologica Agriculturae*. 2020. Vol. 23. N1. 30-39.
18. Mahalakshmi J. et al. IoT Sensor-Based Smart Agricultural System. *Emerging Technologies for Agriculture and Environ-*

ment. Springer. Singapore. 2020. 39-52.

19. Ju C., Son H. I. Modeling and control of heterogeneous agricultural field robots based on Ramadge–Wonham theory. *IEEE Robotics and Automation Letters*. 2019. Vol. 5. N1. 48-55.

20. Дозорцев В.М. Заметки о моде и человеке в промышленной автоматизации // Автоматизация в промышленности. 2011. N2. С. 32-34.

REFERENCES

- Goryachkin V.P. Zemledeľ'cheskaya mekhanika CH. 1: Osnovy teorii zemledeľ'cheskikh mashin i orudiy: 1917-1918 [Agricultural mechanics. Ch. 1: Fundamentals of agricultural machines and tools: 1917-1918]. Moscow: Kn-vo studentov Petrov. s.-kh. akad. 1919. 200 (In Russian).
- Chernoivanov V.I. Biomashsistemy. Teoriya i prilozheniya [Biomachine systems. Theory and applications]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2016. 214 (In Russian).
- Kartashov L.P., Solov'ev S.A., Asmankin E.N., Makarovskaya Z.V. Raschet ispolnitel'nykh mekhanizmov biotekhnicheskoy sistemy [Calculation of executive mechanisms of a biotechnical system]. Ekaterinburg: UrO RAN. 2002. 181 (In Russian).
- Anokhin P.K. Uzlovye voprosy teorii funktsional'nykh sistem [Nodal issues of the functional system theory]. Moscow: Nauka. 1980. 196 (In Russian).
- Popechitelev E.P. Problemy sinteza biotekhnicheskikh sistem [Problems of synthesis of biotechnical systems]. *Nauchnoe obozreniye. Tekhnicheskkiye nauki*. 2016. N2. 54-62 (In Russian).
- Chernoivanov V.I., Sudakov S.K., Tolokonnikov G.K. Biomashsistemy, funktsional'nye sistemy i kategor'naya teoriya sistem [Biomachine, functional systems and categorical systems theory]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2017. N2(26). 23-34 (In Russian).
- Weibing W. Target Detection And Analysis of Intelligent Agricultural Vehicle Movement Obstacle Based on Panoramic Vision. *Inmateh-Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 58. N3.
- Arkhipov A.G., Kosogor S.N., Motorin O.A., Gorbachev M.I., Suvorov G.A., Truflyak E.V. TSifrovaya transformatsiya sel'skogo khozyaystva Rossii [Digital transformation of Russian agriculture]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2019. 80 (In Russian).
- Doronin A.M., Romanov D.A., Romanov M.A. Cheloveko-mashinnoe vzaimodeystvie i ego pokazateli [Human-machine interaction and its indicators]. *Vestnik Adygeyskogo GU*. 2005. N4. 244-250 (In Russian).
- Raju K. L., Vijayaraghavan V. IoT Technologies in Agricultural Environment: A Survey. *Wireless Personal Communications*. 2020.
- Petrin K.V., Teryaev R.D., Filimonov A.B., Filimonov N.B. Tekhnologii v ergaticheskikh sistemakh upravleniya [Technologies in ergatic control systems]. *Izvestiya Yuzhnogo Federal'nogo universiteta. Tekhnicheskkiye nauki*. 2010. N3. 7-13 (In Russian).
- Fisinin V.I., Lachuga Yu.F., Zhuchenko A.A., Ivanov A.L., Ushachev I.G., Ezhevskiy A.A., Krasnoshchekov N.V., Chernoivanov V.I., Izmaylov A.Yu., Strebkov D.S., Popov V.D. Strategiya mashinno-tekhnologicheskoy modernizatsii sel'skogo khozyaystva na period do 2020 goda [Strategy of machine and technological modernization of agriculture up to 2020]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2009. 80 (In Russian).
- Voutos Y. et al. A survey on intelligent agricultural information handling methodologies. *Sustainability*. 2019. Vol. 11. N12. 3278.
- Yang H. et al. Experimental analysis and evaluation of wide residual networks based agricultural disease identification in smart agriculture system. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*. 2019. Vol. 2019. N1. 1-10.
- Mylostyvyi R.V. et al. Ecological substantiation of the normalization of the state of the air environment in the uninsulated barn in the hot period. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 9. N3. 84-91.
- Jovović V. et al. Microclimate parameters and ventilation inside the barns in the lowland region of Bosnia and Herzegovina. *Journal of Animal Science of BiH*. 2019. Vol. 1. N2. 14-18.
- Salimi M., Pourdarbani R., Nouri B. A. Factors Affecting the Adoption of Agricultural Automation Using Davis's Acceptance Model (Case Study: Ardabil). *Acta Technologica Agriculturae*. 2020. Vol. 23. N1. 30-39.
- Mahalakshmi J. et al. IoT Sensor-Based Smart Agricultural System. *Emerging Technologies for Agriculture and Environment*. Springer. Singapore. 2020. 39-52.
- Ju C., Son H. I. Modeling and control of heterogeneous agricultural field robots based on Ramadge–Wonham theory. *IEEE Robotics and Automation Letters*. 2019. Vol. 5. N1. 48-55.
- Dozortsev V.M. Zаметки о моде и человеке в промышленной автоматизации [Notes on fashion and man in industrial automation]. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti*. 2011. N2. 32-34 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

**Статья поступила в редакцию 18.08.2020
The paper was submitted
to the Editorial Office on 18.08.2020**

**Статья принята к публикации 02.09.2020
The paper was accepted
for publication on 02.09.2020**



Система роботизированного обслуживания кормового стола на животноводческих комплексах

Дмитрий Юрьевич Павкин¹,
кандидат технических наук,
старший научный сотрудник;

Евгений Александрович Никитин¹,
младший научный сотрудник, аспирант,
e-mail: evgeniy.nicks@yandex.ru;
Владислав Александрович Зобов²,
главный инженер

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

²SECF Electric Trading, Москва, Российская Федерация

Реферат. Оценили уровень роботизации технологических процессов на животноводческих комплексах по содержанию крупного рогатого скота, определили, что наиболее свободной нишей роботизации технологических процессов стало кормление, которое на 55 процентов формирует молочную продуктивность. Показали необходимость в разработке колесной роботизированной платформы, которая обеспечит доступность кормовой смеси по фронту кормления и в процессе перемещения будет многостадийно насыщать объемистые компоненты кормовой смеси концентрированными, повышая их привлекательность для животных, при этом нормализуя баланс сухого вещества и клетчатки. (*Цель исследования*) Смоделировать систему управления роботизированной платформой с независимым электромоторизованным приводом. (*Материалы и методы*) Рассмотрели технологии организации процессов кормления животных на ферме. Провели технологическую оценку эффективности применяемых на ферме автоматизированных и роботизированных машин. Использовали в процессе исследования среду имитационного моделирования Matlab/Simulink. (*Результаты и обсуждение*) Разработали математическую модель, описывающую кинематику и динамику движения платформы. Сформировали предполагаемую элементную базу в общую модель робота в искусственной среде Matlab/Simulink, сымитировав процесс движения по окружности. (*Выводы*) Создали математическую модель, формирующую основу создания системы управления разрабатываемого робота. Доказали, что устройство дозирования кормовых добавок обеспечит баланс потребляемого сухого вещества и клетчатки.

Ключевые слова: роботизированные системы, молочное животноводство, дозирование кормов, электромоторизованный привод, кормление крупного рогатого скота, математическая модель.

Для цитирования: Павкин Д.Ю., Никитин Е.А., Зобов В.А. Система роботизированного обслуживания кормового стола на животноводческих комплексах // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №3. С. 33-38. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-3-33-38.

Robotic System for Maintenance of Feed Table for Livestock Complexes

Dmitriy Yu. Pavkin¹,
Ph.D.(Eng.), senior researcher;

Evgeniy A. Nikitin¹,
postgraduate, junior researcher,
e-mail: evgeniy.nicks@yandex.ru;
Vladislav A. Zobov²,
postgraduate, junior researcher

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

²SECF Electric Trading, Moscow, Russian Federation

Abstract. Assessing the robotization level of technological processes in livestock complexes based on the breeding, authors found that the most free niche of robotization of technological processes in livestock complexes is the feeding process, which forms 55 percent of milk productivity. There is a need to develop a wheeled robotic platform that will ensure the availability of the feed mixture along the feeding front. This platform will multi-stage saturate the bulky components of the feed mixture with concentrated ones, increasing their attractiveness to animals, while normalizing the balance of dry matter consumed and fiber obtained from bulky feeds. (*Research purpose*) To simulate the control system of a robotic platform with an independent electro-motorized drive. (*Materials and methods*) The article presents technologies for organizing animal feeding processes on the farm, conducted a technological assessment of the effectiveness of automated and robotic machines used on the farm. Authors used

the Matlab/Simulink simulation environment in the research process. (*Results and discussion*) The article presents a developed mathematical model describing the kinematics and dynamics of the platform movement. Authors formed the assumed element base into a general model of the robot in an artificial Matlab/Simulink environment, simulating the process of moving around a circle. (*Conclusions*) The created mathematical model forms the basis for creating a control system for the robot under development. The device for dosing feed additives will ensure the balance of dry matter and fiber consumed.

Keywords: robotic systems, dairy farming, feed dosing, electro-motorized drive, cattle feeding, mathematical model.

For citation: Pavkin D.Yu., Nikitin E.A., Zobov V.A. Sistema robotizirovannogo obsluzhivaniya kormovogo stola na zhivotnovodcheskikh kompleksakh [Robotic system for maintenance of feed table for livestock complexes]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N3. 33-38 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-3-33-38.

Одним из приоритетных направлений развития современного молочного животноводства в настоящее время становится роботизация. Во многом это обусловлено тем, что себестоимость человеческих ресурсов при производстве молока чрезвычайно велика. Для российского отраслевого рынка и большинства производителей продукции молочного животноводства стоимость средств роботизации пока еще высока, что объясняется валютной нестабильностью и отсутствием собственного производства комплектующих для создания роботизированных систем животноводства [1-4].

Однако внедрение подобных комплексов на территории РФ позволит решить ряд проблем, вызванных низкой квалификацией обслуживающего персонала (операторов доения, скотников и пр.). Например, внедрение доильных роботов *DeLaval VMS* на базе производственного предприятия АО «Зеленоградское» способствовало относительному снижению трудозатрат при обслуживании поголовья в процессе доения; также системы роботизированного доения существенно повышают качество получаемого молока на выходе по количеству соматических клеток и другим показателям [5-10].

Оценивая степень внедрения различных решений, позволяющих сократить влияние человеческого фактора на процесс производства, стоит отметить, что наиболее свободной нишей роботизации технологических процессов на животноводческих комплексах стало кормление крупного рогатого скота, что неким образом не говорит о его меньшей значимости, так как формирование молочной продуктивности на 55% обеспечивается посредством сбалансированного рациона и достаточного уровня потребления сухого вещества. Однако повышение продуктивности животных путем энергетического насыщения рациона часто влечет за собой необратимые последствия для поголовья – кетоз, ацидоз и пр. [11-15].

Во многом это обуславливается физиологической потребностью КРС в сортировке компонентов кормовой смеси в пользу энергетически ценных (комбикорма, дробина и др.), ввиду чего животные пренебрегают грубыми объемистыми компонентами (сено, солома, сенаж и пр.), которые в свою очередь насыща-

ют рубец животного клетчаткой, устанавливающей энергетический баланс [16-20].

Авторы предложили разработку колесной роботизированной платформы, которая обеспечит доступность кормовой смеси по фронту кормления и в процессе перемещения будет многостадийно насыщать объемистые компоненты кормовой смеси концентрированными, повышая их привлекательность для животных.

Цель исследования – смоделировать систему управления роботизированной платформой с независимым электромоторизированным приводом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В качестве определения актуальности направления научных исследований изучили материалы международных выставок отрасли, сайты ведущих производителей образцов современных технических и технологических решений для молочного и мясного животноводства: АО «СМЗ», *Wasserbauer*, *DeLaval*, *Afimilk*, *GEA Farm*, *Lely* и др.

Исследовали технологии организации процессов кормления животных на ферме, провели технологическую оценку эффективности применяемых на ферме автоматизированных и роботизированных машин.

Динамическую модель движения роботизированной платформы разработали по методу Ньютона-Эйлера.

Оценку достоверности моделирования системы управления роботизированной платформой осуществляли с использованием среды искусственного моделирования *Matlab/Simulink*.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Ключевым элементом разрабатываемой системы стало роботизированное устройство, обозначенное на схеме (рис. 1).

В рамках реализации предложенной концепции смоделирован прототип роботизированного устройства (рис. 2).

Создание роботизированного устройства, содержащего колесный независимый электромоторизированный привод, предполагает обеспечение автономного перемещения устройства по территории кормового стола животноводческого комплекса посредством программирования контроллера электропривода и системы навигации робота.

Поэтому в рамках реализации предложенного ре-



шения был рассмотрен процесс плоского движения колесной роботизированной платформы в плоскости XOY в соответствии с представленной схемой (рис. 3).

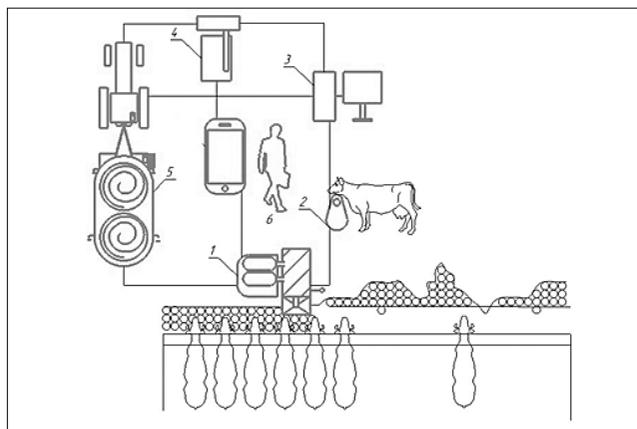


Рис. 1. Архитектура системы роботизированного обслуживания кормового стола: 1 – роботизированное устройство, обслуживающее кормовой стол; 2 – персональный датчик (чип, болюс и пр.) животного; 3 – центральный компьютер на ферме; 4 – погрузчик компонентов кормовой смеси с индикатором бортовой системой взвешивания; 5 – миксер-раздатчик кормовой смеси с бортовой системой взвешивания; 6 – управляющий фермой

Fig. 1. The system architecture of a robotic servicing of feed table: 1 – a robotic device that supports the feed table; 2 – personal sensor (chip, bolus, etc.) of the animal; 3 – the central computer in the farm; 4 – loader components of the feed mixture with the indicator on-board weighing system; 5 – mixer-distributor of feed with on-Board weighing system; 6 – farm manager

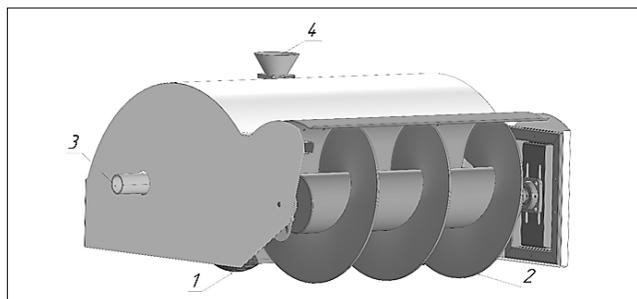


Рис. 2. 3-D модель роботизированного устройства для обслуживания кормового стола на животноводческих комплексах: 1 – электромоторизированное колесо; 2 – винтовой толкатель кормовой смеси; 3 – выходное отверстие дозатора кормовых добавок (премиксов, ароматизаторов, комбикормов); 4 – засыпная горловина для дозируемых добавок

Fig. 2. 3-D model of a robotic device for servicing the feed table at livestock complexes: 1 – electro-motorized wheel; 2 – screw pusher of the feed mixture; 3 – outlet of the feed additive dispenser (premixes, aromatic additives, mixed feed); 4 – filling neck for the dosed additives

Точка O_0 – центр масс робота, связанная с подвижной системой координат $X_0 O_0 Y_0$.

Процесс моделирования предполагал, что колеса

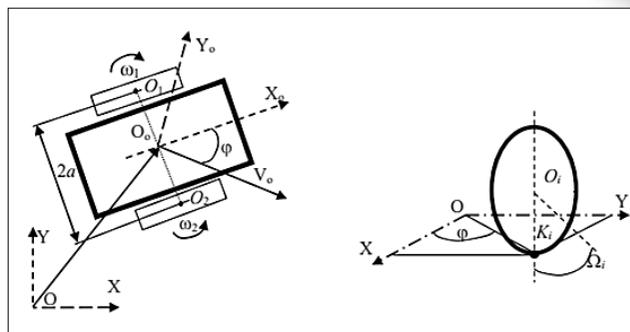


Рис. 3. Расчетная схема, описывающая кинематику движения роботизированной платформы

Fig. 3. Calculation scheme describing the kinematics of the robotic platform movement

имеют независимое управление и вращаются без проскальзывания, межосевое расстояние колес $O_0 O_1 = O_0 O_2 = a$. Положение каждого колеса характеризуется декартовыми координатами точки K_i , углом курса φ и углом поворота колеса i (рис. 3).

Процесс движения колес описывает система уравнений (1), (2):

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = 0.5d \times \omega_1 \times \cos\varphi \\ \dot{y}_1 = 0.5d \times \omega_1 \times \sin\varphi \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \dot{x}_2 = 0.5d \times \omega_2 \times \cos\varphi \\ \dot{y}_2 = 0.5d \times \omega_2 \times \sin\varphi \end{cases} \quad (2)$$

где, $\dot{x}_1, \dot{x}_2, \dot{y}_1, \dot{y}_2$ – координаты точек K_1 и K_2 ;

d – диаметр колеса;

$\omega_1 = \Omega_1$ – угловая скорость колеса 1;

$\omega_2 = \Omega_2$ – угловая скорость колеса 2.

$$V_0 = 0.25d \times (\omega_1 - \omega_2), \operatorname{tg}\varphi = \frac{V_0}{R + a} = \frac{0.25d \times (\omega_1 - \omega_2)}{R + a} \quad (3)$$

где $R = O_0 O_2$ – радиус поворота робота;

a – конструктивный параметр модели.

Геометрическими координатами центра масс робота служит середина отрезка $O_1 O_2$, которая является центром межколесного расстояния, определяемыми системой уравнений:

$$\begin{cases} x_0 = \frac{x_1 + x_2}{2} \\ y_0 = \frac{y_1 + y_2}{2} \end{cases} \quad (4)$$

Геометрическая связь описана системой уравнений (5):

$$\begin{cases} x_2 = 2a \times \cos\varphi + x_1 \\ y_2 = 2a \times \sin\varphi + y_1 \end{cases} \quad (5)$$

Совокупность уравнений (1)-(5) представляет собой кинематическую модель движения робота.

Описание динамической модели движения робота осуществили путем использования метода Ньютона-Эйлера:

$$\begin{cases} m\ddot{x}_0 = \sum F_x \\ m\ddot{y}_0 = \sum F_y \\ J_0\ddot{\varphi} = \sum M_0, \end{cases} \quad (6)$$

где m – масса робота;

J_0 – тензор инерции транспортного робота относительно связанной системы координат $X_0O_0Y_0$.

Проекции сил F_1 и F_2 на ось X , проекции сил F_1 и F_2 на ось Y , момент сил F_1 и F_2 относительно центра масс робота определили по выражению:

$$\begin{cases} \sum F_x = 0.5(F_{1x} + F_{2x}) \\ \sum F_y = 0.5(F_{1y} + F_{2y}). \\ \sum M_0 = a(F_1 - F_2) \end{cases} \quad (7)$$

Рассмотрели движение нагруженного колеса.

Предположили, что к приводному колесу приложен вращательный момент M_{ki} , внешний момент M_i , момент трения качения M_{Tki} (рис. 3). Внешними силами относительно колеса служат: вес колеса P_{ki} , нормальная реакция дороги N_{ki} , внешняя сила нагрузки F_i и сила трения T_{ki} . Рассмотрим случай, когда $N_{ki} \geq P_{ki}$.

Составили дифференциальное уравнение движения колеса при условии, что $N_{ki} = N_{ki}$; $Y_{ki} = 0$:

$$\begin{cases} m_{ki}\ddot{x}_{ki} = F_i - T'_{ki} + T_{ki} \\ J_{\Sigma i} \times \omega_i = (T_{ki} - T'_{ki}) \times r_k - M_{\Sigma i} \\ M_{\Sigma i} = M_{ki} - k \times N_{ki}, \end{cases} \quad (8)$$

где $r_k = 0,5d$ – радиус колеса;

k – коэффициент сопротивления качению,

ω_i – угловая скорость колеса,

m_{ki} – масса колеса,

$J_{\Sigma i}$ – суммарный момент инерции колеса.

В качестве симуляции математической модели колесного робота была смоделирована элементная база с двумя независимыми приводными колесами в среде *Matlab/Simulink* (рис. 4).

Результатом симуляции математической модели колесного робота с двумя независимыми приводными колесами стало построение графика в среде *Matlab/Simulink*, который получен путем описания центра масс робота в плоскости (x, y) . Причем показатели $Constant = 5$, $Constant1 = 10$, что характеризует уровень подачи напряжения на привод колеса.

Таким образом, математическую модель движения робота можно считать достоверной, так как траектория, полученная путем использования функции *PLOT* $(x; y)$ в среде *Matlab/Simulink*, представляет собой

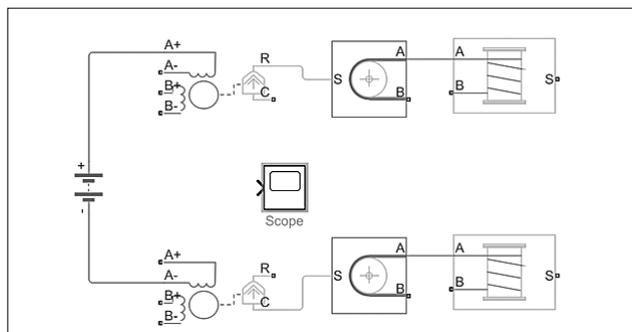


Рис. 4. Элементы симуляции привода колесного робота в среде *Matlab/Simulink*

Fig. 4. Elements of simulation of a wheeled robot drive in the *Matlab/Simulink* environment

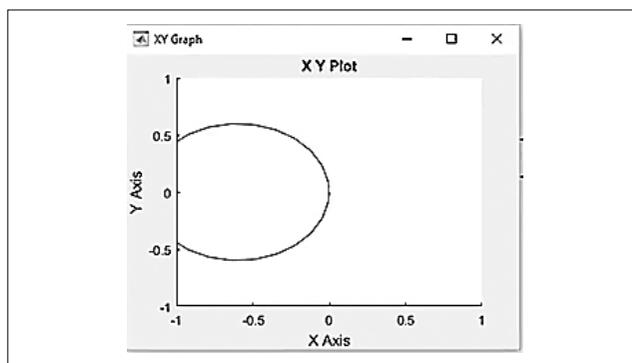


Рис. 5. Траектория движения центра масс модели колесного робота

Fig. 5. Trajectory of the center of mass of the wheeled robot model

окружность благодаря разности подаваемого напряжения на приводы колеса (рис. 5).

Выводы. Разработанная математическая модель системы управления колесной роботизированной платформой формирует основу создания системы управления разрабатываемого робота. Реализация предложенной концепции и ее внедрение в технологический процесс кормления крупного рогатого скота снизит затраты на оплату труда обслуживающему персоналу. Система дозирования концентрированных кормовых добавок обеспечит повышение вкусовых качеств объемистых кормовых компонентов в процессе скармливания, обеспечивая баланс потребляемого рациона.

Исследования выполнены при поддержке Фонда содействия инновациям в рамках программы «У.М.Н.И.К.» – У-56377.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Валецкий Ю.Е. Технологическая модернизация молочных ферм в племязаводе ЗАО «Зеленоградское» // *Техника и оборудование для села*. 2008. N5. С. 9-11.
2. Мишуров Н.П. Информационный менеджмент молочного скотоводства // *Вестник ВНИИМЖ*. 2014. N4. С. 41-48.
3. Иванов Ю.А., Сыроватка В.И., Морозов Н.М. Механи-



зация и автоматизация процессов в животноводстве. Сборник статей. Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса (Правдинский). 2019.

4. Ерохин М.Н., Катаев Ю.В., Вергазова Ю.Г. Проблемы изготовления и ремонта машин АПК с позиции принципа 5м. Всероссийская научно-техническая конференция "Отечественный и зарубежный опыт обеспечения качества в машиностроении". Сборник докладов. 2019. С. 158-161.

5. Miller-Cushon E.K., DeVries T.J. Feed sorting in dairy cattle: Causes, consequences, and management. *Journal of Dairy Science*. 2017. May, 100(5). 4172-4183.

6. Yang Fan, Liu Shi-rong, Liu Fei. Cooperative transport strategy for formation control of multiple mobile robots. *Journal of Zhejiang University-Science C-Computers & Electronics*. 2010. Dec. Vol. 12. 931-938.

7. Scott V.E., Kerrisk K.L., Thomson P.C. Voluntary cow traffic and behaviour in the premilking yard of a pasture-based automatic milking system with a feed supplementation regime. *Livestock Science*. 2015. Jan. Vol. 71. 52-63

8. Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Никитин Е.А., Заикин В.П. Математическая модель управления электромоторизованным приводом робота для обслуживания кормового стола на животноводческих комплексах // *Вестник НГИЭИ*. 2020. N7(110). С. 14-24.

9. Никитин Е.А., Семенюк В.С. Анализ проблем эффективного приготовления кормовой смеси в современном животноводстве // *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. 2019. N2(34). С. 158-163.

10. Halachmi I., Borsting C.F., Maltz E. Feed intake of Holstein, Danish Red, and Jersey cows in automatic milking systems. *Livestock Science*. 2011. Jun. Vol. 1-3

11. Jacobs J.A., Siegford J.M. Invited review: The impact of automatic milking systems on dairy cow management, behavior, health, and welfare. *Journal of Dairy Science*. 2012. May. Vol. 95, Iss. 5, 2227-2247.

12. Tseu Ramos Jorge, Perna Junior Flavio, Carvalho Roberta Ferreira. Effect of tannins and monensin on feeding behaviour, feed intake, digestive parameters and microbial efficiency of nellore cows. *Italian Journal of Animal Science*. 2020. Dec. Vol. 14. 262-273.

13. Rodrigues Rodrigo O., Cooke Reinaldo F., Firmino Franciele C. Productive and physiological responses of lactating dairy cows supplemented with phytogenic feed ingredients. *Translational Animal Science*. 2019. Jul. Vol. 4. 1133-1142.

14. Khmelovskiy V., Rogach S., Tonkha O., Rosamaha Y. Quality evaluation of mixing fodder by mobile combined units. 18th International Scientific Conference Engineering For Rural Development. Book series: *Engineering for Rural Development*. 2019. 18. N468. 299-304.

15. Nazli Muhamad Hazim, Halim Ridzwan Abdul, Abdullah Amin Mahir. Potential of feeding beef cattle with whole corn crop silage and rice straw in Malaysia. *Tropical Animal Health And Production*. 2018. Jun. Vol. 5. 1119-1124.

16. Sinha S. K., Chaturvedi V.B., Singh Putan. Effect of high and low roughage total mixed ration diets on rumen metabolites and enzymatic profiles in crossbred cattle and buffaloes. *Veterinary World*. 2017. Jun. Vol. 6. 616-622.

17. Salazar Luces, Jose Victorio, Matsuzaki Shin, Hirata Yasuhisa RoVaLL. Design and Development of a Multi-Terrain Towed Robot With Variable Lug-Length Wheels. *IEEE Robotics And Automation Letters*. 2020. Vol. 4. 6017-6024.

18. Hogenboom J.A., Pellegrino L., Sandrucci A. Invited review: Hygienic quality, composition, and technological performance of raw milk obtained by robotic milking of cows. *Journal of Dairy Science*. 2019. Sep. Vol. 9. 7640-7654.

19. Rodenburg Jack. Robotic milking: Technology, farm design, and effects on work flow. *Journal of Dairy Science*. Sep. 2017. Vol. 9. 7729-7738.

20. Измайлов А.Ю., Дорохов А.С., Федоткин Р.С., Крючков В.А., Овчинников Е.В., Уютов С.Ю., Овчаренко А.С., Кузьмин В.А. О разработке двухзвенного малогабаритного роботизированного транспортно-технологического средства // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2020. N1(34). С. 4-14.

REFERENCES

1. Valeckiy Yu.E. Tekhnologicheskaya modernizatsiya molochnyh ferm v plemzavode ZAO «Zelenogradskoe» [Technological modernization of dairy farms in the stud farm JSC «Zelenogradskoe»]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2008. N5. 9-11 (In Russian).

2. Mishurov N.P. Informacionnyy menedzhment molochnogo skotovodstva [Information management of dairy cattle breeding]. *Vestnik VNIIMZH*. 2014. N4. 41-48 (In Russian).

3. Ivanov Yu.A., Syrovatka V.I., Morozov N.M. Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya processov v zhivotnovodstve [Mechanization and automation of processes in animal husbandry]. Sbornik statey. Rossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut informatsii i tekhniko-ekonomicheskikh issledovaniy po inzhenerno-tekhnicheskому obespecheniyu agropromyshlennogo kompleksa

(Pravdinskiy). 2019 (In Russian).

4. Erohin M.N., Kataev Yu.V., Vergazova Yu.G. Problemy izgotovleniya i remonta mashin APK s pozitsii principa 5m [Problems of manufacturing and repair of agricultural machinery from the point of view of the 5m principle]. Vserossiyskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya "Otechestvennyy i zarubezhnyy opyt obespecheniya kachestva v mashinostroenii". Sbornik dokladov. 2019. 158-161 (In Russian).

5. Miller-Cushon E.K., DeVries T.J. Feed sorting in dairy cattle: Causes, consequences, and management. *Journal of Dairy Science*. 2017. May. 100(5). 4172-4183 (In English).

6. Yang Fan, Liu Shi-rong, Liu Fei. Cooperative transport strategy for formation control of multiple mobile robots. *Journal Of Zhejiang University-Science C-Computers & Electronics*. Dec.

2010. Vol. 12. 931-938 (In English).

7. Scott V.E., Kerrisk K.L.; Thomson P.C. Voluntary cow traffic and behaviour in the premilking yard of a pasture-based automatic milking system with a feed supplementation regime. *Livestock Science*. Jan. 2015. Vol. 171. 52-63 (In English).

8. Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu., Nikitin E.A., Zaikin V.P. Matematicheskaya model' upravleniya elektromotorizirovannym privodom robota dlya obsluzhivaniya kormovogo stola na zhivotnovodcheskih kompleksah [A mathematical model of the control electro-motorized actuator of the robot for maintenance of feed table on animal farms]. *Vestnik NGIEI*. 2020. N7(110). 14-24 (In Russian).

9. Nikitin E.A., Semenyuk V.S. Analiz problem effektivnogo prigotovleniya kormovoj smesi v sovremennom zhivotnovodstve [Analysis of problems of effective preparation of feed mixture in modern animal husbandry]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizacii zhivotnovodstva*. 2019. N2(34). 158-163 (In Russian).

10. Halachmi I., Borsting C.F., Maltz E. Feed intake of Holstein, Danish Red, and Jersey cows in automatic milking systems. *Livestock Science*. JUN. 2011. Vol. 1-3 (In English).

11. Jacobs J.A., Siegford J.M. Invited review: The impact of automatic milking systems on dairy cow management, behavior, health, and welfare. *Journal of Dairy Science*. 2012. May. Vol. 95, Iss. 5, 2227-2247 (In English).

12. Tseu Ramos Jorge, Perna Junior Flavio, Carvalho Roberta Ferreira. Effect of tannins and monensin on feeding behaviour, feed intake, digestive parameters and microbial efficiency of nellore cows. *Italian Journal of Animal Science*. 2020. Dec. Vol. 14. 262-273 (In English).

13. Rodrigues Rodrigo O., Cooke Reinaldo F., Firmino Franciele C. Productive and physiological responses of lactating dairy cows supplemented with phytochemical feed ingredients. *Translational Animal Science*. 2019. Jul. Vol. 4. 1133-1142 (In English).

14. Khmelovskiy V., Rogach S., Tonkha O., Rosamaha Y. Quality evaluation of mixing fodder by mobile combined units. 18th International Scientific Conference Engineering For Rural Development. Book series: *Engineering for Rural Development*. 2019. 18. N468. 299-304 (In English).

15. Nazli Muhamad Hazim, Halim Ridzwan Abdul, Abdullah Amin Mahir. Potential of feeding beef cattle with whole corn crop silage and rice straw in Malaysia. *Tropical Animal Health And Production*. 2018. Jun. Vol. 5. 1119-1124 (In English).

16. Sinha S. K., Chaturvedi V.B., Singh Putan Effect of high and low roughage total mixed ration diets on rumen metabolites and enzymatic profiles in crossbred cattle and buffaloes. *Veterinary World*. 2017. Jun. Vol. 6. 616-622 (In English).

17. Salazar Luces, Jose Victorio, Matsuzaki Shin, Hirata Yasuhisa RoVaLL. Design and Development of a Multi-Terrain Towed Robot With Variable Lug-Length Wheels. *IEEE Robotics And Automation Letters*. 2020. Vol. 4. 6017-6024 (In English).

18. Hogenboom J.A., Pellegrino L., Sandrucci A. Invited review: Hygienic quality, composition, and technological performance of raw milk obtained by robotic milking of cows. *Journal of Dairy Science*. 2019. Sep. Vol. 9. 7640-7654 (In English).

19. Rodenburg Jack Robotic milking: Technology, farm design, and effects on work flow. *Journal of Dairy Science*. Sep. 2017. Vol. 9. 7729-7738 (In English).

20. Izmaylov A.Yu., Dorohov A.S., Fedotkin R.S., Kryuchkov V.A., Ovchinnikov E.V., Uytov S.Yu., Ovcharenko A.S., Kuz'min V.A. O razrabotke dvuhzvennogo malogabaritnogo robotizirovannogo transportno-tehnologicheskogo sredstva [On the development of a two-link small-sized robotic transport and technological vehicle]. *Innovacii v sel'skom hozyaystve*. 2020. N1(34). 4-14 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 10.06.2020
The paper was submitted
to the Editorial Office on 10.06.2020

Статья принята к публикации 04.09.2020
The paper was accepted
for publication on 04.09.2020



Влияние энергосберегающих систем с использованием природного холода на энергоёмкость процесса охлаждения молока

Алексей Борисович Коршунов,
кандидат технических наук, доцент,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: koral314@yandex.ru;

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Снижение энергозатрат в технологических процессах охлаждения и хранения молока на фермах – актуальная задача. (*Цель исследования*) Сократить энергоёмкость процесса охлаждения молока на фермах при сохранении его качества. (*Материалы и методы*) Исследовали существующие и новые умные комбинированные системы охлаждения на основе рационального использования источников природного и искусственного холода со средствами его аккумуляции и экологически чистыми хладоносителями с низкой температурой заморозки. (*Результаты и обсуждение*) Определили зависимость количества энергии, которое может быть применено для охлаждения и хранения молока и рассеяно в окружающую среду, от потенциала природного холода района и места расположения технологического объекта. Разработали методику оценки потенциала природного холода для различных регионов страны. Установили требуемые ёмкости льдохранилищ для молочных ферм с различным поголовьем и годовым удоем. Представили диаграмму экономии электрической энергии при использовании природного холода для охлаждения молока на фермах на 400 голов с удоем 5000 литров в различных климатических регионах России. Показали, что значительная экономия энергии может быть получена в результате применения комбинированных аккумуляторов природного и искусственного холода с использованием экологически чистых хладоносителей с низкой температурой заморозки и грунтовых льдохранилищ, в которых замораживание грунта и воды осуществляется грунтовой охлаждающей термоустановкой с двухфазными термосифонами. (*Выводы*) Применение умных комбинированных систем охлаждения молока на фермах на основе рационального использования источников природного и искусственного холода со средствами его аккумуляции и экологически чистыми хладоносителями с низкой температурой заморозки позволяет сократить энергозатраты в 1,5-3 раза при сохранении качества продукта. Данные системы в различной конфигурации и комплектации эффективно использовать во всех агроклиматических регионах страны.

Ключевые слова: охлаждение молока, энергосбережение, природный холод, аккумуляция, экологически чистый хладоноситель, льдохранилище.

Для цитирования: Коршунов А.Б. Влияние энергосберегающих систем с использованием природного холода на энергоёмкость процесса охлаждения молока // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №3. С. 39-44. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-3-39-44.

Influence of Energy-Saving Systems Using Natural Cold on the Energy Intensity of the Milk Cooling Process

Aleksey B. Korshunov,
Ph.D.(Eng.), associate professor, leading researcher,
e-mail: koral314@yandex.ru;

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. Reduction of energy consumption in technological processes of cooling and storage milk on farms is urgent task. (*Research purpose*) The research purpose is in reducing the energy intensity of the milk cooling process on farms while maintaining its quality. (*Materials and methods*) The authors conducted research to improve existing and create new smart combined cooling systems based on the rational use of natural and artificial cold sources with means of its accumulation and environmentally friendly coolants with low freezing point. (*Results and discussion*) The authors have found the dependence of the amount of energy that can be used for cooling and storage of milk and dispersed into the environment on the potential of natural cold of the area and the

location of the technological object. The article presents a methodology for assessing the potential of natural cold for different regions of Russia. According to the methodology, authors calculated the values of the ice storage capacities for dairy farms with different livestock and annual milk yield. The article presents the diagram of electric energy savings when using natural cold to cooling milk on farms of 400 heads with a yield of 5000 liters in different climatic regions of Russia. Significant energy savings can be obtained through the use of combined accumulators of natural and artificial cold using environmentally friendly coolants with low freezing point and ground ice storage, in which the freezing of soil and water is carried out due to the ground cooling thermal installation with twophase thermosyphons. (*Conclusions*) The use of smart combined milk cooling systems on farms on the basis of sources of natural and artificial cold with means of its accumulation and environmentally friendly coolants with low freezing point allows to reduce energy consumption in 1.5-3 times at preservation of its quality. At the same time, such systems in various configurations can be effectively used in all agroclimatic regions of the country.

Keywords: milk cooling, energy saving, natural cold, accumulation, environmentally friendly coolant, ice storage.

For citation: Korshunov A.B. Vliyaniye na energoemkost' protsessa ohlazhdeniya moloka energosberegayushchikh sistem s ispol'zovaniem prirodnogo holoda [Influence of energy-saving systems using natural cold on the energy intensity of the milk cooling process]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N3. 39-44 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-3-39-44.

Модернизация и цифровизация АПК с помощью энергосберегающих интеллектуальных установок, отвечающих современному научно-техническому уровню, – важная задача (Патент РФ № 2674895. Устройство и способ для охлаждения молока / Я.П. Лобачевский, С.А. Соловьев, А.Б. Коршунов, Б.П. Коршунов) [1-4].

Известно, что при производстве практически всех видов сельскохозяйственной продукции в нашей стране затрачивается энергии в несколько раз больше, чем в передовых странах, при этом доля вырабатываемой электроэнергии для производства холода постоянно увеличивается и в настоящее время уже превышает 20% [5]. Особенно это важно при охлаждении молока на фермах, так как в этой области сельскохозяйственного производства необходима реконструкция (модернизация) охлаждающих систем и наиболее серьезный ущерб экономика страны ощущает от недостаточной мощности и надежности холодильного оборудования.

Существующие технологии и оборудование для охлаждения и хранения имеют ряд недостатков, которые негативно влияют не только на качество и энергоемкость производимой сельскохозяйственной продукции, но и на экологию. Практически не применяется аккумулирование энергии холода, особенно в виде льда [6-13].

В последнее время для аккумуляции холода стали использовать льдосодержащие пульпы, имеющие различные названия: айс-сларри, бинарный лед, жидкий лед, зероторы и т.д. Однако в этих разработках не учитываются природные источники холода, и затраты электроэнергии на охлаждение и хранение сельскохозяйственной продукции остаются относительно высокими [14].

Поэтому снижение энергозатрат в технологических процессах охлаждения и хранения молока на фермах – актуальная задача.

Цель исследования – сократить энергоемкость процесса охлаждения молока на фермах при сохранении его качества.

Материалы и методы. Для решения указанных задач в Федеральном научном агроинженерном центре ВИМ проводят исследования по совершенствованию существующих и созданию новых умных комбинированных систем охлаждения на основе рационального применения источников природного и искусственного холода со средствами его аккумулирования и экологически чистыми хладоносителями (ЭЧХ) с низкой температурой замерзания [15].

Математическое моделирование и компьютерное программирование процесса охлаждения молока позволили определить конфигурацию теплообменных аппаратов (пластинчатого проточного теплообменника, приемника природного холода и т.д.), оптимальную конструкцию оборудования системы охлаждения с использованием природного холода и исследовать режимы ее работы в динамике.

При этом решаются основные вопросы по созданию технологических схем, оборудования и режимов работы энергосберегающих комбинированных систем охлаждения и хранения с использованием природного холода, льдоаккумуляторов, грунтовых льдохранилищ (ЛХ), ЭЧХ и систем автоматического (цифрового) управления.

Результаты и обсуждение. Количество энергии, которое может быть использовано для охлаждения и хранения сельскохозяйственной продукции и рассеяно в окружающую среду, находится в зависимости от потенциала природного холода района и места расположения технологического объекта. Он отражает максимальное экономически оправданное количество энергии природного холода, которое возможно применить для охлаждения сельскохозяйственной продукции в данном регионе при существующем уровне развития технических средств, технологий и соблю-



дении экологических норм.

Для определения влияния потенциала природного холода на энергоемкость сельскохозяйственной продукции была разработана методика оценки потенциала природного холода для различных регионов страны.

Потенциал каждого региона можно оценить, пользуясь так называемым региональным критерием природного холода атмосферного воздуха, численно равным величине толщины ледяного массива (столба), который может быть наморожен в этом районе в течение холодного времени года. Региональный критерий природного холода K_p рассчитывают из выражения:

$$K_p = \sum_{i=1}^{n_{\text{ХП}}} \delta_i \cdot f_i \quad (1)$$

где δ_i – средневзвешенная интенсивность намораживания ледяного столба (массива) в i -м месяце, мм/ч; f_i – продолжительность периода намораживания в i -м месяце холодного периода, ч; $n_{\text{ХП}}$ – количество месяцев в холодном времени года в агроклиматическом регионе.

Подставляя выражения для расчета интенсивности намораживания ледяного массива в данном агроклиматическом районе, получим развернутое выражение расчета регионального критерия потенциала природного холода:

$$K_p = \sum_{i=1}^{n_{\text{ХП}}} [K_1 \cdot t_i (1 + K_2 \cdot \omega)] \cdot f_i \quad (2)$$

где t_i – расчетная температура наружного воздуха в i -м месяце; K_1 , K_2 – эмпирические коэффициенты влияния расчетной температуры и скорости ветра; ω – скорость ветра, м/с;

Для выработки рекомендаций по размещению оборудования исследовали климатические характеристики и рассчитывали региональный критерий потенциала природного холода в следующих городах России: Барнауле, Волгограде, Вятке, Екатеринбурге, Иркутске, Казани, Краснодаре, Москве, Нижнем Новгороде, Новосибирске, Ростове-на-Дону, Самаре, Санкт-Петербурге, Саратове, Ульяновске, Челябинске, Ярославле.

Анализ, проведенный по предлагаемому критерию, показал, что к первому региону, обладающему самым большим потенциалом природного холода, относятся зоны, расположенные севернее городов: Иркутск, Барнаул, Новосибирск, Вятка, Екатеринбург, Казань.

Ко второму региону относятся зоны с южной границей по окрестностям городов: Москва, Нижний Новгород, Ульяновск, Ярославль.

К третьему региону – зоны с городами: Краснодар, Санкт-Петербург, Ростов-на-Дону, Волгоград.

Выбор и обоснование конкретной энергосберега-

ющей системы производится в два этапа: по обобщенным агроклиматическим характеристикам района и требованиям к системе охлаждения в конкретном месте установки. При этом учитывают условия объекта по особенностям гидрогеологии и возможности землеотвода, по планировочным решениям производственных помещений, наличию и качеству систем водоснабжения, принятой технологии и режиму доения и транспортировки молока, ориентации производственных участков по сторонам света и другим факторам.

На объектах, расположенных в первом (северном) регионе с максимальным потенциалом холода, системы охлаждения объединяют функции аккумуляторов и приемников природного холода.

Во втором регионе в рекомендуемых системах охлаждения в качестве приемника природного холода могут быть использованы установки сезонного действия (УСД), действующие совместно с источниками искусственного холода, в качестве которых могут применяться парокомпрессионные или вакуум-испарительные установки. В холодное время используются УСД, а в теплое время – подзарядная холодильная машина с ограниченной установленной мощностью.

В третьем регионе предлагаются в основном системы комбинированного действия с применением в качестве источника вторичного холода грунта и грунтовой воды.

Для практических расчетов потенциал природного холода может оцениваться в баллах и рассчитываться из выражения:

$$P_{\text{ПХ}} = \frac{H_j}{P} \quad (3)$$

где $P_{\text{ПХ}}$ – потенциал природного холода наружного воздуха i -го региона; H_j – расчетная высота ледяного массива, намораживаемого за год в месте расположения сельхозобъектов; P – цена балла.

С помощью балльной оценки также выделены три региона, где $P_{\text{ПХ}}$ и режимы эксплуатации охлаждающих систем, использующих природный холод, будут существенно различаться. Климатические характеристики и города – типопредставители этих регионов представлены в *таблице 1*.

Параметры для городов – типопредставителей основных регионов получены с помощью соотношения температур наружного воздуха в отдельных регионах и продолжительности их стояния по данным АО «CLIMATE GROUP TM».

При применении ЛХ в системах охлаждения молока на фермах можно обойтись без источников искусственного холода и в центральном регионе.

Использование ЛХ в системах охлаждения молока на фермах позволяет не только снизить затраты электроэнергии, но и повысить надежность процесса, при сохранении высокого качества молока.

Регионы Regions	Города Cities	Средняя температура в холодный период года, X_1 , °C Average temperature during the cold season, X_1 , °C	Продолжительность холодного периода, X_2 , сут Duration of the cold season, X_2 , days	Скорость ветра в холодный период года, X_3 , м/с Wind speed during the cold season, X_3 , m/s	Потенциал природного холода наружного воздуха, $P_{ПХ}$, баллы Potential of natural cold of external air, $P_{ПХ}$, points
Северный Northern	Иркутск Irkutsk	-8,9	241	2,8	>80
Центральный Central	Москва Moscow	-3,2	205	4,9	60...80
Южный South	Краснодар Krasnodar	+1,5	152	3,6	<60

Ключевым фактором, определяющим аккумулирующую способность ЛХ, служит его вместимость. В результате проведенных исследований выявлены значения требуемых емкостей ЛХ для молочных ферм на 100, 200 и 400 коров с годовым удоем от одной коровы 4000, 5000 и 6000 л соответственно (табл. 2).

Как следует из диаграммы, использование разрабатываемых энергоресурсосберегающих экологически безопасных охлаждающих систем позволит уменьшить энергозатраты на выработку холода для животноводческой фермы в зависимости от региона от 2 до 5 раз.

Поголовье, гол. Livestock, number	Годовой удой от одной коровы, л/год / Annual milk yield from one cow, liter per year					
	с предварительным охлаждением with pre-cooling			без предварительного охлаждения without pre-cooling		
	4000	5000	6000	4000	5000	6000
100	75	90	110	150	187	225
200	150	188	225	300	375	450
400	300	375	450	600	750	900

Из таблицы 2 видно, что применение предварительного охлаждения молока уменьшает требуемую емкость ЛХ в 2 раза.

На рисунке 1 представлена диаграмма экономии электрической энергии при использовании природного холода для охлаждения молока на фермах на 400 гол. с удоем 5000 л в различных климатических регионах России.

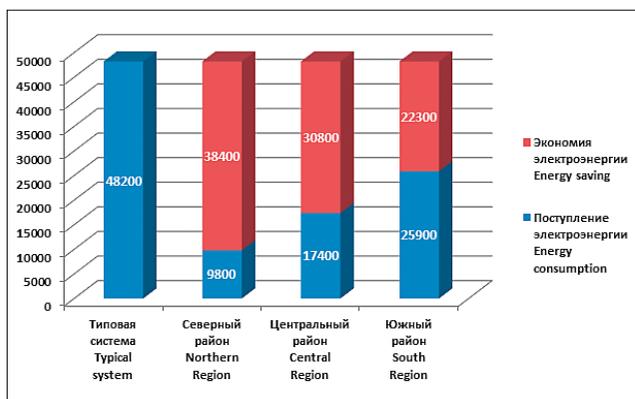


Рис. 1. Диаграмма экономии электрической энергии на охлаждение молока в различных регионах России, кВт·ч в год (ферма на 400 гол.)

Fig. 1. Diagram of energy saving for cooling milk in different regions of Russia, kW·h per year (farm for 400 heads)

Значительная экономия энергии может быть получена в результате применения в системах для охлаждения молока на фермах комбинированных аккумуляторов природного и искусственного холода с использованием ЭЧХ (рис. 2).

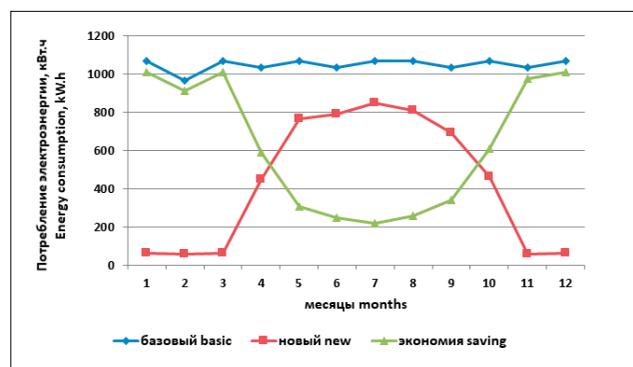


Рис. 2. График потребления электроэнергии по месяцам для базового и нового варианта на ферме на 50 гол. (Московский регион)

Fig. 2. Energy consumption by month for basic and a new option on the farm for 50 heads (Moscow region)

На рисунке 3 представлен разработанный в Федеральном научном агроинженерном центре ВИМ энер-



Рис. 3. Энергосберегающий модуль для охлаждения молока на фермах с использованием природного холода и экологически безопасных хладоносителей с низкой температурой заморозания
Fig. 3. Energy-saving module for cooling milk on farms using natural cold and environmentally friendly coolants with low freezing point

госберегающий модуль, позволяющий охлаждать молоко с помощью природного холода и экологически безопасных хладоносителей с низкой температурой заморозания.

В настоящее время в Федеральном научном агроинженерном центре ВИМ проводят исследования по разработке технологии охлаждения и хранения при помощи комбинированных аккумулирующих установок с ЭЧХ и грунтовых льдохранилищ, в которых

замораживание грунта и воды осуществляется за счет грунтовой охлаждающей термоустановки (ГТУ) с двухфазными термосифонами.

Каждый двухфазный термосифон за активный (холодный) период своей работы намораживает ледяной цилиндр в воде или грунте, а в совокупности все установленные термосифоны могут замораживать грунтовой массив практически любой конфигурации и объема.

Грунтовые охлаждающие термоустановки включаются в работу автоматически при температурах атмосферного воздуха ниже температуры грунта, они не требуют затрат электроэнергии, обслуживания, срок службы составляет десятки лет, а использование ЭЧХ дает возможность повысить надежность процесса охлаждения и хранения молока в течение всего года без применения холодильных машин.

Предложенную технологию можно использовать для охлаждения молока практически сразу же после дойки, что обеспечивает сохранность его высоких качеств, а оборудование может быть установлено и в условиях самых удаленных животноводческих ферм, комплексов и на пастбищах, так как здесь имеется возможность наиболее эффективно применять источники природного холода, при этом повышается надежность процесса охлаждения, энергозатраты снижаются в 1,5-3 раза в зависимости от региона страны, где установлено оборудование.

Выводы. Применение умных комбинированных систем охлаждения молока на фермах на основе рационального использования источников природного и искусственного холода со средствами его аккумуляции и экологически чистыми хладоносителями с низкой температурой заморозания позволяет сократить энергозатраты в 1,5-3 раза при сохранении качества продукции. При этом такие системы в различной конфигурации и комплектации могут быть эффективно использованы во всех агроклиматических регионах страны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иванов Ю.А. Цифровое животноводство: перспективы развития // *Вестник ВНИИМЖ*. 2019. N1(33). С. 4-7.
2. Кормановский, Л.П. И малым фермам нужны высокие технологии и современная техника // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2016. N4(19). С. 98-102.
3. Тихомиров И.А., Андрияшина О.Л., Скоркин А.В. Ресурсосберегающие технологии производства высококачественного молока // *Вестник ВНИИМЖ*. 2017. N4(28). С. 92-98.
4. Цой Ю.А. Процессы и оборудование доильно-молочных отделений животноводческих ферм. М.: ВИЭСХ. 2010. 424 с.
5. Калнинь И.Н. Энергоэффективность и экологическая безопасность холодильных систем // *Холодильная техника*. 2008. N3. С. 12-14.
6. «SMART ICE» – умная система получения ледяной воды с аккумуляцией холода // *Молочная промышленность*. 2013. N7. С. 71-72.
7. Rodrigo A. Jordan I, Luis A. B. Cortez, Vivaldo Silveira Jr., Mário E. R. M. Cavalcanti- Mata, Felipe D. de Oliveira. Modeling and testing of an ice bank for milk cooling after milking. *Engenharia Agrícola*. Jaboticabal. 2018. Vol. 38. N4. 510-517.
8. Durmaz U., Ozdemir M., Pehlivan H. An experimental investigation into heat transfer in milk cooling vessels. *Scientia Iranica B*. 2018. N25(3). 1258-1265.
9. Victor Torres-Toledo, Alice Hack, Farah Mrabet, Ana Salvatierra-Rojas, Joa-chim Müller. On-farm milk cooling solution based on insulated cans with integrated ice compartment.

International Journal of Refrigeration. 90. 2018. 22-31.

10. Lee A.P., Barbano D.M., Drake M.A. Short communication: The effect of raw milk cooling on sensory perception and shelf life of high-temperature, short-time (HTST)–pasteurized skim. *Milk. Journal of Dairy Science*. 2016. Vol. 99. N12, 9659-9667.

11. Завражных А.И., Козловцев А.П., Квашенников В.И. и др. Круглогодичное использование природного холода в условиях молочно-товарных ферм Южного Урала: рекомендации. Мичуринск: Издательство Мичуринского ГАУ, 2016. 61 с.

12. Козловцев А.П., Квашенников В.И., Константинов М.М. и др. Секционный аккумулятор природного холода для охлаждения молока на фермах // *Известия Самарской ГСХА*. 2016. Т. 1 N4. С. 43-46.

1. Ivanov Yu.A. Tsifrovoe zhivotnovodstvo: perspektivy razvitiya [Digital farming: prospects of development]. *Vestnik VNIIMZh*. 2019. N1(33). 4-7 (In Russian).

2. Kormanovskiy L.P. I malym fermam nuzhny vysokie tekhnologii i sovremennaya tekhnika [And small farms need high technologies and modern equipment]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2016. N4(19). 98-102 (In Russian).

3. Tikhomirov I.A., Andryukhina O.L., Skorkin A.V. Resursosberegayushchie tekhnologii proizvodstva vysokokachestvennogo moloka [Resource-saving technologies of high-quality milk production]. *Vestnik VNIIMZh*. 2017. N4(28). 92-98 (In Russian).

4. Tsoy Yu.A. Protsessy i oborudovanie doil'no-molochnykh otdeleniy zhivotnovodcheskikh ferm [Processes and equipment of the milking of the dairy livestock farms offices]. Moscow: VIESH. 2010. 424 (In Russian).

5. Kalnin' I.N. Energoeffektivnost' i ekologicheskaya bezopasnost' kholodil'nykh sistem [Energy Efficiency and Environmental Safety of Refrigeration Systems]. *Kholodil'naya tekhnika*. 2008. N3. 12-14 (In Russian).

6. «SMART ICE» – umnaya sistema polucheniya ledyanoy vody s akkumulyatsiyey kholoda [“SMART ICE” clever system for getting ice water with accumulation of cold]. *Molochnaya promyshlennost'*. 2013. N7. 71-72 (In Russian).

7. Rodrigo A. Jordan, Luís A. B. Cortez, Vivaldo Silveira Jr., Mário E. R. M. Cavalcanti- Mata, Felipe D. de Oliveira. Modeling and testing of an ice bank for milk cooling after milking. *Engenharia Agrícola. Jaboticabal*. 2018. Vol. 38, N4, 510-517.

8. Durmaz U., Ozdemir M., Pehlivan H. An experimental investigation into heat transfer in milk cooling vessels. *Scientia Iranica B*. 2018. N25(3), 1258-1265

9. Victor Torres-Toledo, Alice Hack, Farah Mrabet, Ana

13. Лапшин В.Д. Способы получения льдосодержащих пульп // *Холодильная техника*. 2013. N6. С. 46-49.

14. Коршунов А.Б., Иванов В.В., Коршунов Б.П. Повышение энергоэффективности оборудования для охлаждения молока с использованием природного холода. М.: ВИМ. 2019. 128 с.

15. Коршунов Б.П., Коршунов А.Б. Аккумуляция холода: резерв повышения энергоэффективности охлаждения и хранения сельскохозяйственной продукции // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. N1(30). С. 38-44.

Salvatierra-Rojas, Joa-chim Müller. On-farm milk cooling solution based on insulated cans with integrated ice compartment. *International Journal of Refrigeration*. 90. 2018. 22-31.

10. Lee A.P., Barbano D.M., Drake M.A. Short communication: The effect of raw milk cooling on sensory perception and shelf life of high-temperature, short-time (HTST)–pasteurized skim. *Milk. Journal of Dairy Science*. 2016. Vol. 99. N12, 9659-9667.

11. Zavrazhnov A.I., Kozlovtssev A.P., Kvashennikov V.I. et al. Kruglogodovoe ispol'zovanie prirodnogo kholoda v usloviyakh molochno-tovarnykh ferm Yuzhnogo Urala: rekomendatsii [Year-round use of natural cold in dairy farms in the Southern Urals: recommendations]. Mikhurinsk: Izdatel'stvo Michurinskogo GAU, 2016. 61 (In Russian).

12. Kozlovtssev A.P., Kvashennikov V.I., Konstantinov M.M. et al. Sektsionnyy akkumulyator prirodnogo kholoda dlya okhlazhdeniya moloka na fermakh [Section battery of natural cold for cooling milk on farms]. *Izvestiya Samarskoy GSKhA*. 2016. Vol. 1 N4. 43-46 (In Russian).

13. Lapshin V.D. Sposoby polucheniya l'dosoderzhashchikh pul'p [Methods for producing ice-containing pulps]. *Kholodil'naya tekhnika*. 2013. N6. 46-49 (In Russian).

14. Korshunov A.B., Ivanov V.V., Korshunov B.P. Povyshenie energoeffektivnosti oborudovaniya dlya ohlazhdeniya moloka s ispol'zovaniem prirodnogo holoda [Improving the energy efficiency of milk cooling equipment using natural cold]. Moscow: VIM. 2019. 128 (In Russian).

15. Korshunov B.P., Korshunov A.B. Akkumulyatsiya kholoda: rezerv povysheniya energoeffektivnosti okhlazhdeniya i khraneniya sel'skokhozyaystvennoy produktsii [Accumulation of cold: reserve for improving the energy efficiency of cooling and storage of agricultural products]. *Vestnik VIESH*. 2018. N1(30). 38-44 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 01.06.2020
The paper was submitted
to the Editorial Office on 01.06.2020

Статья принята к публикации 28.08.2020
The paper was accepted
for publication on 28.08.2020



Основные проблемы научного обеспечения льноводства

Роман Анатольевич Ростовцев,
доктор технических наук,
профессор Российской академии наук, директор,
e-mail: info@fnclt.ru;

Виктор Григорьевич Черников,
доктор технических наук, профессор,
член-корреспондент Российской академии наук,
главный научный сотрудник;

Игорь Валентинович Ушаповский,
кандидат биологических наук, доцент,
заместитель директора по научной работе;

Роман Андреевич Попов,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: r.popov@fnclt.ru

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

Реферат. Стратегические планы экономического развития Российской Федерации на ближайшую перспективу предполагают увеличение спроса на изделия из натуральных волокон, в том числе льняные ткани, что потребует роста производства отечественного льносырья. Рассмотрели важнейшие проблемы научного обеспечения увеличения производства и повышения качества льнопродукции в России. (*Цель исследования*) Оценить состояние льноводства и выявить проблемы научного обеспечения повышения качества льнопродукции. (*Материалы и методы*) Изучили организационные аспекты возделывания и переработки льна, новые способы уборки культуры, вопросы механизации технологических процессов и состояние технической оснащённости хозяйств. (*Результаты и обсуждение*) Показали, что доля использования льна в индустриально развитых странах достигает 24 процентов при производстве текстиля, бумаги, композитных материалов. Выявили, что уровень механизации на льнозаводах не превышает 40 процентов. Представили сравнительный анализ интенсификации западноевропейского и отечественного льноводства. Подтвердили, что отдельную технологию уборки можно применять в среднем на 25-30 процентах уборочной площади, в зависимости от погодных условий. Определили, что примерно 90 процентов тресты в России и за рубежом получают, используя росяную мочку. Разработали новый способ уборки льна и многофункциональный агрегат для его осуществления. В ходе экспериментов установили рост производительности новых технических средств на 50 процентов, сокращение содержания путанины в ворохе на 60 процентов, снижение потерь семян в 3 раза по сравнению с уборкой льноуборочным комбайном ЛК-4А. Показали достоинства метода оборачивания ленты на льнице, который создает равные условия вылежки для верхнего и нижнего слоев, что особенно эффективно при урожайности соломы более 3,5 тонны с гектара. Оборачивание способствует увеличению однородности соломы по цвету в верхнем и нижнем слоях ленты и повышает качество и количество льнотресты. (*Выводы*) Установили, что для повышения эффективности льноводства необходима комплексная модернизация, предполагающая решение организационных, агрономических, технологических и инженерно-технических вопросов.

Ключевые слова: лен-долгунец, технические средства, льнотреста, семена льна, качество сырья, механизация льноводства.

■ **Для цитирования:** Ростовцев Р.А., Черников В.Г., Ушаповский И.В., Попов Р.А. Основные проблемы научного обеспечения льноводства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №3. С. 45-52. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52.

The Main Problems Of Scientific Support Of Flax Growing

Roman A. Rostovtsev,
Dr.Sc.(Eng.), professor of the Russian academy of sciences,
director, e-mail: info@fnclt.ru;

Viktor G. Chernikov,
Dr.Sc.(Eng.), professor, corresponding member of the
Russian academy of sciences, chief researcher;
Federal Research Center for Fiber Crops, Tver, Russian Federation

Igor V. Ushchapovsky,
Ph.D.(Eng.), research deputy director;

Roman A. Popov,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: r.popov@fnclt.ru

Abstract. Strategic plans for the economic development of the Russian Federation involve an increase in demand for natural fiber products, including linen, which will require an increase in the production of domestic linen in the near future. The authors

examined the most important problems of scientific support for production increasing and the quality of flax products improving in the Russian Federation. (*Research purpose*) To assess the flax growing state and identify the problems of scientific support for improving the flax production quality. (*Materials and methods*) The authors studied the organizational aspects of flax cultivation and processing, new ways of harvesting crops, issues of technological processes mechanization and the state of farms' technical equipment. (*Results and discussion*) The authors showed that the share of flax use in industrialized countries reached 24 percent in the textiles, paper, and composite materials production. They found out that the mechanization level at the flax mills did not exceed 40 percent. They presented a comparative analysis of the intensification level of Western European and domestic flax growing. They confirmed that separate cleaning technology could be applied on average at 25-30 percent of the harvested area, depending on weather conditions. It was determined that approximately 90 percent of treated plant fibres were received using a dewy lobe in Russia and abroad. The authors developed a new method of cleaning flax and a multifunctional unit for its implementation. During the experiments, they established a 50 percent increase in the productivity of new technical equipment, a 60 percent reduction in the heap content, and a 3-fold reduction in seed losses compared to harvesting with the LK-4A flax harvester. They showed the advantages of the method of the tape wrapping on linen, which created equal conditions for aging for the upper and lower layers, which was especially effective when the straw yield was more than 3.5 tons per hectare. Wrapping helped to increase the uniformity of straw in color in the upper and lower layers of the tape and increased the quality and quantity of flax seeds. (*Conclusions*) It was established that in order to increase the flax growing efficiency, a comprehensive modernization was necessary, which involved the solution of organizational, agronomic, technological and engineering issues.

Keywords: fibre flax, technical equipment, flax seeds, quality of raw materials, mechanization of flax cultivation.

■ **For citation:** Rostovtsev R.A., Chernikov V.G., Ushchapovsky I.V., Popov R.A. Osnovnye problemy nauchnogo obespecheniya l'novodstva [The main problems of scientific support of flax growing]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N3. 45-52 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52.

В соответствии с приказом Федерального агентства научных организаций от 10.05.2018 № 382 «О реорганизации Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт механизации льноводства» на базе института создано Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр лубяных культур» (ФГБНУ ФНЦ ЛК). Центр объединяет филиалы и подразделения в пяти субъектах Российской Федерации: Пензенский институт сельского хозяйства, Псковский институт сельского хозяйства, Смоленский институт сельского хозяйства, Институт льна (г. Торжок), структурное подразделение (г. Кострома). Важнейшей задачей в льноводстве, да и в других отраслях по возделыванию и уборке лубяных культур, остается повышение эффективности работы путем внедрения более современных технологий, технических средств и использования новых сортов, адаптированных к условиям региона, обеспечивающих получение высококачественного волокна.

В развитых странах мира по оценкам, Европейской конфедерации льна и конопли (CELC) и Института натуральных волокон (INF&MP), высокий потребительский спрос на текстильные и нетканые изделия, в том числе изо льна, должен сохраниться до 2025 г. и в последующие годы.

Несмотря на перспективность использования льна, уровень интенсификации отрасли в России гораздо ниже мировых показателей. Во Франции, Нидерландах, Бельгии урожайность длинного волокна дости-

гает 1,5-2,0 т/га при его хорошем качестве.

Наша страна отстает от европейских государств в разработке, производстве и, особенно, в качестве сортов льна и машин для его возделывания. В связи с этим необходимо в короткие сроки выйти на новый уровень развития [1-3]. Предстоит разработать технологию комплексного использования средств производства льна-долгунца, обеспечивающую улучшение плодородия почвы, повышение урожайности и качества льнопродукции, снижение себестоимости, охрану окружающей среды от загрязнений.

Необходимо внедрять новые и совершенствовать существующие технические средства для индустриально-поточной безотходной технологии производства и переработки льна-долгунца [4-6].

Цель исследования – оценить состояние льноводства и выявить проблемы научного обеспечения повышения качества льнопродукции.

Материалы и методы. Изучали организационные аспекты возделывания и переработки льна, новые способы уборки культуры, вопросы механизации технологических процессов и состояние технической оснащенности хозяйств.

Результаты и обсуждение. Лен-долгунец и сегодня остается главной технической культурой и источником натурального сырья для производства льняных тканей и изделий. В структуре мирового производства волокон его доля за последние десятилетия увеличилась на 4-5%. Индустриально развитые страны применяют лен во всех отраслях промышленности (табл. 1) [1].



Доля использования льна в индустриально развитых странах, % RATIO OF FLAX USE IN INDUSTRIALIZED COUNTRIES, %	
Материалы / Materials	Значение / Value
Геотекстиль/Geotextile	2
Нетканые материалы/Non woven fabric	5
Неорганические композиты/Inorganic composites	7
Полимерные композиты/Polymer composites	14
Текстиль/Textile	24
Бумага/Paper	24
Композитные материалы/composite materials	24

Однако при всей значимости волокнистой продукции для народного хозяйства ее производство в нашей стране сократилось. Кризисная ситуация в льноводстве сложилась из-за недооценки роли и места данной отрасли в экономике страны, перекосов в инвестиционной и ценовой политике, отсутствия должного внимания к развитию материально-технической базы льноводства, а также социальных проблем на селе.

Основные причины сокращения посевных площадей и спада производства – уменьшение численности сельского населения, недостаточное техническое оснащение, низкие культура производства и технологическая дисциплина.

Критической проблемой льноводства остается техническая оснащенность. Анализ состояния технической базы указывает на чрезвычайно низкую обеспеченность специализированными техническими средствами и оборудованием на всех этапах возделывания и переработки культуры. В большинстве хозяйств техника эксплуатируется 15-20 лет, амортизация основных технических средств превышает 90%, а закупка новых единиц составляет менее 2% от потребности [6].

Не лучшее положение и в промышленности по первичной переработке льна. Почти все оставшиеся льнозаводы, которых около 40, нуждаются в реконструкции, повышении уровня механизации основных и вспомогательных работ. Уровень механизации на заводах не превышает 40%. Нехватка и низкое качество сырья отрицательно сказываются на результатах работы льнозаводов, их финансовом состоянии, которое частично усугубляется и физически устаревшим оборудованием.

Помимо организационно-экономических мероприятий необходима разработка зональных специализированных технологий и средств механизации на основе развития фундаментальных и прикладных исследований, способствующих повышению общего уровня агрономии. Поэтому для обеспечения увеличения производства и повышения качества льносырья следует решить важные задачи:

- создание и внедрение высокоэффективных тех-

нологий производства льнопродукции;

- создание технических средств нового поколения для уборки и первичной переработки льна;

- разработка и внедрение инновационных технологий для глубокой переработки льнотресты и льноволокна в конкурентоспособную товарную продукцию нового поколения.

Разработанная ФНЦ ЛК технология механизированной уборки, базирующаяся на сочетании комбайнового и раздельного способов, обеспечит гарантированный сбор урожая при любых погодных условиях в разных льносеющих регионах и позволит получить высококачественное льносырье и семена при минимальных издержках [7-9].

Лен как наиболее трудоемкая культура, при возделывании которой задействовано большое число технологических операций и специализированных технических средств, требует глубокого изучения всех возможных факторов и формирования параметров качества льносырья. Наиболее сложными и трудоемкими технологическими операциями в льноводстве являются уборочные процессы, такие как: подвод стеблей делителями к теребильным ручьям уборочных машин, теребление льна, очес стеблей, формирование ленты и расстил ее на льнище для вылежки в тресту, подбор тресты и транспортировка льновороха.

По подводу стеблей делителями к теребильным ручьям рассчитаем силу воздействия стеблей на стеблеподводы делителя с учетом количества подводимых стеблей, сопротивления их повороту. Силу воздействия стебля P_c определим по формуле [10]:

$$P_c = 0,5i_0 \cdot \cos^2 \alpha \cdot \cos^2 \beta(1 + tg\varphi) \times \left(\frac{k_1 V_M \mu (\pi/2 - \theta)}{P_0} + \frac{k_2 V_M P_0 \mu}{3} + F_{цл} \right) \cos \varphi, \quad (1)$$

где i_0 – густота стеблестоя, шт./м²; α – угол наклона стеблеподвода к горизонту, град.; β – половина угла заострения делителя, град.; φ – угол отклонения стебля от горизонтальной плоскости, град.; k_1 – опытный коэффициент, зависящий от диаметра стебля, его влажности, кг/м·с; V_M – скорость стеблеподвода, м/с; μ – коэффициент, зависящий от параметров делителя; θ – угол наклона стебля к горизонту, град.; k_2 –

опытный коэффициент, зависящий от сечения элемента стебля, кг/м·с; p_0 – отклонение стебля от вертикальной плоскости, мм; $F_{\text{сц}}$ – сила сцепления стеблей в верхушечной части, Н; φ – угол трения стеблей по поверхности стеблеподвода, град.

Продольные ленточно-роликовые ручки льнотеребильных аппаратов характеризуются наличием в зоне тербления криволинейных и прямолинейных участков. Для расчета длины тербильного участка в таком ручье получена аналитическая зависимость [10]:

$$S_p = V_p (t_1 + t_2), \quad (2)$$

где V_p – скорость тербильных ремней, м/с; t_1 – время тербления стеблей на криволинейном участке, с; t_2 – время тербления стеблей на прямолинейном участке, с.

Из всего многообразия очесывающих аппаратов самым надежным, как показала практика, остается устройство гребневого типа [11, 12]. Его основные показатели – качество работы и чистота очеса.

Качество работы очесывающего аппарата зависит в основном от соотношения зоны расположения семенных коробочек в ленте и рабочей зоны очеса самого аппарата. Колебания верхушечной части ленты перед очесывающим аппаратом свидетельствуют о том, что зона очеса ленты льна $B_{\text{л}}$ не остается постоянной и в реальных условиях является случайной величиной, зависящей от условий уборки и динамических свойств уборочной машины [13]:

$$B_{\text{л}} = B_0(t) + B_p + l(t), \quad (3)$$

где $B_0(t)$ – ширина зоны очеса, обусловленная длиной зоны коробочек, м; $B_p(t)$ – ширина зоны очеса, обусловленная растянутостью ленты льна, м; $l(t)$ – колебания зоны очеса, обусловленные высотой стеблестоя льна, м.

Чистота очеса льна может быть выражена как функция удельного числа прочесов:

$$W = f(Q), \quad (4)$$

где W – чистота очеса, %; Q – удельное число прочесов, зуб./см.

Удельное число прочесов определяется по формуле [13]:

$$Q = \frac{V_3 P_B Z \cdot Z_3}{200 V_M \pi R}, \quad (5)$$



Рис. Общий вид многофункционального агрегата
Fig. General view of the multifunction device

где V_3 – скорость зубьев, м/с; P_B – количество барабанов в аппарате, шт.; Z – количество гребней на барабане, шт.; Z_3 – количество зубьев на гребне барабана, шт.; R – радиус концов зубьев барабана, м.

Расстил стеблей льна в ленту влияет на качество и количество продукции. Оснащение льноуборочных машин расстилочными устройствами активного типа позволяет исключить ряд недостатков пассивных щитов, а также повысить однородность лент, улучшить качество тресты и получить высокономерное льноволокно.

В процессе расстила наблюдаются три основных этапа:

- захват стеблей пальцами транспортера;
- принудительное перемещение по щиту с разворотом на 90°;
- расстил ленты на льнице.

Для захвата стеблей пальцы должны войти в ленту, поступающую из зажимного транспортера, со скоростью $V_{\text{зт}}$. Условие, при котором палец будет перемещать стебли, следующее:

$$V_{\text{п}} > \frac{V_{\text{зт}}}{\cos \gamma}, \quad (6)$$

где $V_{\text{п}}$ – скорость пальца, м/с; $V_{\text{зт}}$ – скорость зажимного транспортера, м/с; γ – угол наклона расстилочного устройства к горизонту, град.

В процессе перемещения ленты по щиту возникает сила трения стеблей о поверхность щита, которая определяется как $F = G \cos \gamma f$, где G – сила тяжести стебля, Н; f – коэффициент трения [14].

В свою очередь, $G = m_{\text{сг}} g$, где $m_{\text{сг}}$ – масса стебля, кг;

Таблица 2			
Влияние толщины ленты на эффективность получения тресты STRIP THICKNESS EFFECT ON THE EFFICIENCY OF OBTAINING TREATED PLANT FIBRES			
Норма расстила, т/га Spread rate, t / ha	Номер тресты Number of treated plant fibres	Выход длинного волокна, % Output of long fiber, %	Номер волокна Fiber number
3-4	1,75	16,4	12
4-5	1,75	16,7	12
5,5	1,50	15,8	12



g – ускорение свободного падения, m/c^2 . Тогда сила трения будет равна:

$$F = m_C g \cos \gamma f, \quad (7)$$

По окончании взаимодействия ленты с пальцами ремня стебли расстилаются на льнище в свободном состоянии. При этом необходимо учитывать воздействие ветровой нагрузки на расстилаемую ленту, направленную противоположно ее движению. Сила, под действием которой происходит принудительное перемещение ленты, определяется из следующего выражения [15]:

$$\begin{aligned} T_{II} &= F - G \sin \gamma = m_C g \cos \gamma f - m_C g \sin \gamma = \\ &= m_C g (\cos \gamma f - \sin \gamma). \end{aligned} \quad (8)$$

Подбор лент приготовленной льнотресты должен осуществляться подборщиками без потерь, разрывов и сгуживания. Воздействие рабочих органов подбирающего аппарата начинается в момент отрыва ленты от земли. При этом на стебли, находящиеся в ленте, действуют силы сцепления между стеблями и противоположно направленные силы сцепления ленты со льнищем, вес поднимаемого участка ленты и силы инерции. Такой ход процесса возможен при условии [16]:

$$P_{сц}^0 \geq P_{отр} = G + \frac{G}{g} W_0 + P_{сл}, \quad (9)$$

$$\lambda = \frac{V_B}{V_{пдб}} = 1. \quad (10)$$

где $P_{сц}^0$ – сила сцепления между стеблями, Н; $P_{отр}$ – сила, действующая на стебли в момент отрыва от льнища, Н; W_0 – ускорение стеблей в момент отрыва от льнища, m/c^2 ; $P_{сл}$ – сила сцепления стеблей со льнищем, Н; λ – показатель кинематического режима работы; V_B – скорость подбирающего барабана, м/с; $V_{пдб}$ – поступательная скорость подборщика, м/с.

Сила $P_{сл}$ может достигать больших значений, особенно на проросших лентах, и привести к разрыву ленты и потерям стеблей. Из выражения (9) следует, что потери стеблей льна при подборе можно уменьшить:

- увеличить силы сцепления между стеблями в ленте;
- замедлить ускорение при отрыве ленты от льнища;
- ослабить силы сцепления ленты с льнищем.

Условие (9), при котором обеспечивается подбор ленты с льнища без потерь, не является единственным. Необходимо, чтобы лента поступила в подборщик без разрывов и сгуживания, а это возможно при выполнении условия (10). От выбора соотношения скоростей зависят ускорение ленты при ее отрыве, траектория движения конца пальца подбирающего аппарата, величина силы взаимодействия пальцев на стебли, а следовательно, чистота подбора и выход

длинного волокна [17].

Актуальная задача повышения показателей качества льнопродукции является комплексной и затрагивает как растениеводческую, так и инженерно-технологическую сферу льноводства [18].

Возрождение и развитие льняного комплекса страны возможно только на качественно новом уровне и производстве широкого ассортимента конкурентоспособной продукции различного назначения в соответствии с требованиями рынка. Условие конкурентоспособности изделий на мировом рынке – их высокое качество. Повышение качественных показателей волокнистой продукции и семян становится приоритетным направлением развития отрасли, а комплексы машин должны включать технические средства для выполнения операций, специально направленных на увеличение номера льнотресты.

Колебания погодных условий по годам в регионах возделывания льна-долгунца нередко оказывают влияние больше, чем различия средних многолетних показателей природных факторов. Это служит основанием для ориентации на единую комбинированную машинную технологию уборки льна-долгунца во всех льносеющих регионах с приготовлением и реализацией льносырья в рулонах. А отдельную технологию уборки в зависимости от погодных условий можно применять в среднем на 25-30% уборочной площади. Ее доля должна увеличиваться при раннем созревании льна и благоприятных погодных условиях в период 10-12 дней после начала уборки посевов. Она позволяет сократить затраты на топливо в 2,5 раза и в 3 раза снизить расход электроэнергии на сушку льновороха, а также повысить качество льносырья на 0,5-1 сортономер [19].

В связи с изложенным полагаем, что во всех льносеющих регионах страны актуально сочетание обеих технологий уборки льна-долгунца.

В хозяйствах зачастую нет современного комплекса средств производства, особенно для возделывания льна, уборки и приготовления качественной льнотресты [20]. ФНЦ ЛК совместно с ПАО «Пензмаш» разработали новый способ уборки льна и многофункциональный агрегат для его осуществления (патент на изобретение RU № 2693728). Агрегат выполняет тербление стеблей льна, очес семенных коробочек, расстил очесанных стеблей в ленту, обмолот очесанного вороха и первичную очистку семян (*рисунок*).

В соответствии с новым способом уборки тербление стеблей льна проводят в стадии полной спелости, а последовательный очес семенных коробочек осуществляют путем их отрыва от стеблей в момент захвата их тербильным аппаратом и во время транспортировки к поперечному транспортеру. При этом одновременно обмолачивается очесанный ворох и происходит первичная очистка полученных семян. Причем последовательный очес семенных коробочек

от стеблей осуществляется при расположении каждой отдельной полосы стеблей в плоскости, перпендикулярной к теребильному аппарату, до соединения очесанных стеблей в ленту. По ширине захвата теребильного аппарата формируются две ленты стеблей очесанного льна, одна из которых расстилается между колес энергетического средства, а другая – с его левой стороны, для дальнейшего приготовления льнотресты.

Теребление стеблей льна, в стадии полной спелости позволяет надежно выполнять технологический процесс по данному способу при получении высококачественных семян и льнотресты, обеспечивает снижение энергоемкости очесывающего устройства, отсутствие путанины в полученном после очеса льноворохе, а также качественный очес стеблей льна.

Совмещение технологических операций позволяет снизить себестоимость производства семенного материала в результате экономии топлива и электроэнергии на его перевозку, сушку и переработку.

В ходе экспериментов установлены рост производительности новых технических средств на 50%, сокращение содержания путанины в ворохе на 60%, снижение потерь семян в 3 раза по сравнению с уборкой льноуборочным комбайном ЛК-4А.

Практика показывает, что значительная часть урожая льна пропадает в период приготовления тресты. Лучшим и широко используемым способом получения тресты остается росаяная мочка. В России и за рубежом объем тресты, полученной с использованием данного способа, составляет примерно 90%. Получение стланцевой тресты и ее уборка с поля в условиях сельского хозяйства – ответственные операции во всем комплексе производства льна, влияющие на эффективность льноводства. Для получения качественной стланцевой тресты наиболее благоприятный период – начало августа: температура воздуха близка к оптимальной, а необходимый уровень влажности обеспечивается обильными росами и дождями. Эти сроки совпадают с периодом уборки льна в фазу ранней

желтой спелости. Запаздывание с расстилом льна влечет за собой значительные потери урожая. При расстиле льна в сентябре выход длинного волокна и его качество снижаются на 1/3 в сравнении с августовским расстилом. Существенным образом на эффективность процесса получения тресты влияет толщина ленты. Она определяет норму расстила и зависит от количества теребильных секций при уборке льна, а также от густоты стеблестоя (табл. 2).

В результате внедрения в производство механизированных технологий уборки лубяных культур основную массу тресты стали производить на льнище, то есть на участках их выращивания. В итоге существенно возрастает вероятность деструкции целлюлозы при получении тресты. Поэтому для улучшения условий вылежки тресты на льнище рекомендуются два технологических приема, обеспечивающих снижение вероятности соприкосновения стеблей с поверхностью почвы: подсев трав под лен и оборачивание ленты в процессе вылежки. Оборачивание ленты создает равные условия вылежки для верхнего и нижнего слоев, поэтому оно особенно эффективно при урожайности соломы более 3,5 т/га. Оборачивание способствует увеличению однородности соломы по цвету в верхнем и нижнем слоях ленты и повышает качество и количество льнотресты.

Выводы. Для улучшения эффективности отрасли необходима комплексная модернизация, предполагающая решение организационных, агрономических, технологических и инженерно-технических вопросов. Дальнейшее развитие льняного комплекса путем совершенствования технологий возделывания и глубокой переработки льна, модернизация льноуборочной техники в части создания и освоения многорядных машин, разработка новых принципов управления отраслью позволят в ближайшие годы повысить производство льна-долгунца и его качество, а также изделий из льна, конкурентоспособных на внутреннем и внешнем рынках.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ущাপовский И.В., Новиков Э.В., Басова Н.В., Безбабченко А.В., Галкин А.В. Системные проблемы льнокомплекса России и зарубежья, возможности их решения // *Молочно-хозяйственный вестник*. 2017. N1(25). С. 166-186.
2. Поздняков Б.А., Великанова И.В. Актуальные проблемы формирования организационно-экономического механизма модернизации льняного подкомплекса // *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий*. 2019. N10. С. 53-55.
3. Кудряшова Т.А., Виноградова Т.А., Козьякова Н.Н. Оценка сортов льна-долгунца отечественной и зарубежной селекции по выходу волокна из льнотресты в производственных условиях // *Вестник НГАУ* (Новосибирский государственный аграрный университет). 2019(2). С. 25-34.
4. Поздняков Б.А. Актуальные направления совершенствования системы машин для уборки льна-долгунца // *Техника и оборудование для села*. 2019. N8(266). С. 2-6.
5. Черников В.Г., Ковалев М.М., Лачуга Ю.Ф., Козлов В.П., Круглий И.И., Грищенкова В.А., Шустов Ю.С., Логинов О.Г., Петровский Л.Д., Севостьянова М.Ю. Инновационные технологии и технические средства нового поколения для производства и глубокой переработки лубяных культур. М.: РГАУ-МСХА им. Тимирязева. 2010. 150 с.
6. Великанова И.В., Кулов А.Р. Некоторые экономические



аспекты формирования системы машин в льноводстве // *Аграрный вестник Урала*. 2020. N5. С.93-102.

7. Пучков Е.М., Галкин А.В., Ущачовский И.В. О состоянии, проблемах и перспективах обеспечения специализированной техникой льнокомплекса России // *Вестник НГИЭИ*. 2018. N5 (84). С. 97-110.

8. Ростовцев Р.А., Черников В.Г., Ущачовский И.В. Основные направления модернизации льняного агропромышленного комплекса России // *Вестник аграрной науки*. 2019. N1(76). С. 19-30.

9. Черников В.Г., Ростовцев Р.А. Проблемы интенсификации машинных технологий производства и переработки льнопродукции // *Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 110-летию со дня рождения академика М.Е. Мацепуро (Минск, 17-18 октября 2018 г.)*. Минск: Белорусская наука, 2018. С. 69-72.

10. Ковалев М.М. Делители машин для уборки лубяных культур (конструкция, теория и расчет): монография. М.: Росинформагротех, 2014. 244 с.

11. Галкин А. В., Фадеев Д. Г., Ущачовский И. В. Исследование качественных характеристик льноволокна в зависимости от конструкции очесывающего аппарата // *Вестник Мордовского университета*. 2018. Т. 28. N3. С. 389–399.

12. Ростовцев Р.А., Шишин Д.А. Результаты испытаний нового устройства для очеса лент льна // *Техника и оборудование для села*. 2017. N11. С. 18-21.

13. Ковалев М.М. Анализ динамики гребневых очесывающе-транспортирующих барабанов // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2013. N4. С. 2-4.

14. Попов Р.А. Расчет коэффициентов трения при взаимодействии стеблей льна-долгунца с различными материалами // *Достижения науки и техники АПК*. 2006. N4. С. 20-21.

15. Черников В.Г., Перов Г.А., Попов Р.А., Ростовцев А.А. Исследование процесса перемещения стеблей льна по расстилочному щиту в экстремальных погодных условиях // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2012. N3. С. 27-28.

16. Черников В.Г., Романенко В.Ю. Определение связи лент льнотресты со стлищем при подборе их пальцами подбирающего аппарата // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. N3. С. 12-16.

17. Черников В.Г., Романенко В.Ю. Анализ работы подбирающего аппарата льнотресты с подпружиненными пальцами // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2016. N3. С. 17-20.

18. Ковалев М.М., Лачуга Ю.Ф. Научно-техническое обеспечение и комплекс мер по повышению эффективности льноводства // *Техника и оборудование для села*. 2007. N3. С. 28-31.

19. Черников В.Г., Ростовцев Р.А., Романенко В.Ю., Пучков Е.М. Влияние характеристик условий работы на надежность и точность выполнения технологических процессов льноуборочными машинами // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2016. N4. С. 9-11.

20. Новиков Э.В., Королева Е.Н., Безбабченко А.В., Ущачовский И.В. Качество льносырья, волокна и эффективность первичной переработки в льнокомплексе России // *Машинно-технологическая модернизация льняного агропромышленного комплекса на инновационной основе: Сборник научных трудов ВНИИМЛ*. Тверь: ТГУ. 2014. С. 196-200.

REFERENCES

1. Ushchapovskiy I.V., Novikov E.V., Basova N.V., Bezbabchenko A.V., Galkin A.V. Sistemnye problemy l'no kompleksa Rossii i zarubezh'ya, vozmozhnosti ikh resheniya [Systemic problems of the flax complex of Russia and abroad, the possibilities of their solution]. *Molochno-khozyaystvennyy vestnik*. 2017. N1(25). 166-186 (In Russian).

2. Pozdnyakov B.A., Velikanova I.V. Aktual'nye problemy formirovaniya organizatsionno-ekonomicheskogo mekhanizma modernizatsii l'nyanogo podkompleksa [Actual problems of the formation of the organizational and economic mechanism of modernization of the linseed subcomplex]. *Ekonomika sel'skokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy*. 2019. N10. 53 – 55 (In Russian).

3. Kudryashova T.A., Vinogradova T.A., Koz'yakova N.N. Otsenka sortov l'na-dolguntsa otechestvennoy i zarubezhnoy selektsii po vykhodu volokna iz l'notresty v proizvodstvennykh usloviyakh [Evaluation of fiber flax varieties of domestic and foreign selection for fiber yield from flax under production conditions]. *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)*. 2019(2). 25-34 (In Russian).

4. Pozdnyakov B.A. Aktual'nye napravleniya sovershenstvovaniya sistemy mashin dlya uborki l'na-dolguntsa [Actual di-

rections of improving the system of machines for harvesting flax]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2019. N8(266). 2-6 (In Russian).

5. Chernikov V.G., Kovalev M.M., Lachuga Yu.F., Kozlov V.P., Krugliy I.I., Grishchenkova V.A., Shustov Yu.S., Loginov O.G., Petrovskiy L.D., Sevost'yanova M.Yu. Innovatsionnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva novogo pokoleniya dlya proizvodstva i glubokoy pererabotki lubyanykh kul'tur. [Innovative technologies and technical means of new generation for the production and deep processing of bast crops] Moscow: RGAU-MSKHA im. Timiryazeva. 2010. 150 (In Russian).

6. Velikanova I.V., Kulov A.R. Nekotorye ekonomicheskie aspekty formirovaniya sistemy mashin v l'novodstve [Some economic aspects of the formation of a system of machines in flax growing]. *Agrarnyy vestnik Urala*. 2020. N5. 93-102 (In Russian).

7. Puchkov E.M., Galkin A.V., Ushchapovskiy I.V. O sostoyanii, problemakh i perspektivakh obespecheniya spetsializirovannoy tekhnikoy l'no kompleksa Rossii [About the state, problems and prospects of providing the flax complex of Russia with specialized equipment]. *Vestnik NGEI*. 2018. N5 (84). 97-110 (In Russian).

8. Rostovtsev R.A., Chernikov V.G., Ushchapovskiy I.V. Osnovnye napravleniya modernizatsii l'nyanogo agropromyshlennogo kompleksa Rossii [The main directions of modernization of the flaxseed agro-industrial complex of Russia]. *Vestnik agrarnoy nauki*. 2019. N1(76). 19-30 (In Russian).
9. Chernikov V.G., Rostovtsev R.A. Problemy intensivatsii mashinnykh tekhnologiy proizvodstva i pererabotki l'noпродукtsii [Problems of intensification of machine technologies for the production and processing of flax products]. *Nauchno-tekhnicheskii progress v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 110-letiyu so dnya rozhdeniya akademika M.E. Matsepuro (Minsk, 17-18 oktyabrya 2018 g.)*. Minsk: Belorusskaya nauka, 2018. 69-72 (In Russian).
10. Kovalev M.M. Deliteli mashin dlya uborki lubyanykh kul'tur (konstruktsiya, teoriya i raschet): monografiya [Dividers of machines for harvesting bast crops (design, theory and calculation): monograph]. Moscow: Rosinformagrotekh, 2014. 244 (In Russian).
11. Galkin A.V., Fadeev D.G., Ushchapovskiy I.V. Issledovanie kachestvennykh kharakteristik l'novolokna v zavisimosti ot konstruktsii ochesyvayushchego apparata [Study of the qualitative characteristics of flax fiber depending on the design of the combing apparatus]. *Vestnik Mordovskogo universiteta*. 2018. Vol. 28. N3. 389–399 (In Russian).
12. Rostovtsev R.A., Shishin D.A. Rezul'taty ispytaniy novogo ustroystva dlya ochesa lent l'na [Test results of a new device for stripping flax strips]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2017. N11. 18-21 (In Russian).
13. Kovalev M.M. Analiz dinamiki grebnevnykh ochesyvayushche-transportiruyushchikh barabanov [Analysis of the dynamics of combing-transporting drums]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2013. N4. 2-4 (In Russian).
14. Popov R.A. Raschet koeffitsientov treniya pri vzaimodeystvii stebley l'na-dolguntsa s razlichnymi materialami [Calculation of friction coefficients in the interaction of fiber flax stems with various materials]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2006. N4. 20-21 (In Russian).
15. Chernikov V.G., Perov G.A., Popov R.A., Rostovtsev A.A. Issledovanie protsessa peremeshcheniya stebley l'na po rassti-lochnomu shchitu v ekstremal'nykh pogodnykh usloviyakh [Investigation of the process of moving flax stems along a spreading board in extreme weather conditions]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2012. N3. 27-28 (In Russian).
16. Chernikov V.G., Romanenko V.YU. Opredelenie svyazi lent l'notresty so stlishchem pri podbore ikh pal'tsami podbirayushchego apparata [Determination of the connection of flax-straw belts with the slash when picking them up with the fingers of the pick-up device]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. N3. 12-16 (In Russian).
17. Chernikov V.G., Romanenko V.Yu. Analiz raboty podbirayushchego apparata l'notresty s podpruzhinennymi pal'tsami [Analysis of the operation of the pick-up apparatus of flax-resta with spring-loaded fingers]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016. N3. 17-20 (In Russian).
18. Kovalev M.M., Lachuga Yu.F. Nauchno-tekhnicheskoe obespechenie i kompleks mer po povysheniyu effektivnosti l'novodstva [Scientific and technical support and a set of measures to improve the efficiency of flax growing]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2007. N3. 28-31 (In Russian).
19. Chernikov V.G., Rostovtsev R.A., Romanenko V.Yu., Puchkov E.M. Vliyaniye kharakteristik usloviy raboty na nadezhnost' i tochnost' vypolneniya tekhnologicheskikh protsessov l'nouborochnymi mashinami [The influence of the characteristics of working conditions on the reliability and accuracy of technological processes by flax harvesting machines]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2016. N4. 9-11 (In Russian).
20. Novikov E.V., Koroleva E.N., Bezbabchenko A.V., Ushchapovskiy I.V. Kachestvo l'nosyr'ya, volokna i effektivnost' pervichnoy pererabotki v l'nokomplekse Rossii [The quality of flax raw materials, fiber and the efficiency of primary processing in the flax complex of Russia]. *Mashinno-tekhnologicheskaya modernizatsiya l'nyanogo agropromyshlennogo kompleksa na innovatsionnoy osnove: sbornik nauchnykh trudov VNIIML. Tver': TGU*. 2014. 196-200 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 04.02.2020
The paper was submitted
to the Editorial Office on 04.02.2020

Статья принята к публикации 10.08.2020
The paper was accepted
for publication on 10.08.2020



Обоснование искусственной почвенной среды для лабораторных исследований износа и тяговых характеристик почворезущих рабочих органов

Игорь Викторович Лискин,
научный сотрудник;

Анастасия Владимировна Миронова,
аспирант, младший научный сотрудник,
e-mail: timchenko-anastasia93@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Представили результаты лабораторных исследований искусственной почвенной среды на основе песчано-парафиновых смесей, отражающей физико-механические свойства почвы с наличием растительных остатков. Провели испытания по определению тягового сопротивления почворезущих рабочих органов при обработке почвы с наличием корневых и пожнивных остатков. (*Цель исследования*) Обосновать параметры искусственной почвенной среды, содержащей модели корневых и пожнивных остатков, для лабораторных исследований износа и тяговых характеристик почворезущих рабочих органов, эксплуатируемых на послеуборочных, целинных и залежных сельхозугодьях. (*Материалы и методы*) Разработали искусственную почвенную среду путем введения в ее состав нитевидных компонентов длиной 5-25 миллиметров. (*Результаты и обсуждение*) Определили критерии геометрического подобия «модель – натура» для почвенных условий Нечерноземной зоны России. Установили, что равенство критериев подобия «модель – натура» для лабораторного исследования залежных земель происходит при значениях длины нитевидных компонентов от 20 мм и концентрации от 20 отрезков на единицу площади сечения при прохождении 0,1 метра в искусственной почвенной среде. Выявили, что для моделирования старопахотных земель длина нитевидных компонентов должна превышать 5 миллиметров, концентрация – от 10 отрезков на 0,1 метра длины прохождения в искусственной почвенной среде. Провели полевые испытания пахотных агрегатов на залежных и старопахотных землях. (*Выводы*) Установили, что равенство геометрических критериев подобия искусственной почвенной среды и реальных почвенных условий позволяет проводить лабораторные исследования изнашивания и тяговых характеристик лезвий почвообрабатывающих рабочих органов. Определили, что на целинных и залежных землях более 30 процентов затрат энергии приходится на разрыв корневой системы растительного покрова.

Ключевые слова: искусственная почвенная среда, изнашивание лезвий почвообрабатывающих рабочих органов, залежные и старопахотные земли, растительные остатки, тяговое сопротивление.

Для цитирования: Лискин И.В., Миронова А.В. Обоснование искусственной почвенной среды для лабораторных исследований износа и тяговых характеристик почворезущих рабочих органов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №3. С. 53-58. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-3-53-58.

Artificial Soil Environment Justification for Laboratory Studies of Wear and Traction Characteristics of Soil-Cutting Working Bodies

Igor V. Liskin,
Researcher;

Anastasia V. Mironova,
postgraduate student, junior researcher,
e-mail: timchenko-anastasia93@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The authors presented the results of laboratory studies of artificial soil based on sand-paraffin mixtures, reflecting the physical and mechanical soil properties with the presence of plant residues. They conducted tests to determine the soil-cutting working bodies' traction resistance during tillage with the presence of root and crop residues. (*Research purpose*) To substantiate the parameters of an artificial soil environment containing models of root and crop residues for laboratory studies of the wear and traction characteristics of soil-cutting working bodies operated on post-harvest, virgin and fallow farmland. (*Materials and methods*) An artificial soil environment was developed by introducing filamentous components 5-25 millimeters long into its composition. (*Results and discussion*) The authors determined the criteria of geometric similarity “model – nature” for the soil conditions of the Non-Black Earth Zone of Russia. It was found that the equality of the criteria “model – nature” for laboratory research of fallow lands occurred when the length of the filamentous components was from 20 mm and the concentration was from 20 segments per unit cross-sectional area when passing 0.1 meter in artificial soil. It was revealed that for modeling old arable lands, the length of the

filamentous components should exceed 5 millimeters, the concentration should be from 10 segments per 0.1 meter of the length of passage in artificial soil. The authors conducted field tests of arable units on fallow and old arable lands. (*Conclusions*) The authors found out that the equality of the geometric criteria for the similarity of the artificial soil environment and real soil conditions allowed laboratory studies of the wear and traction characteristics of the tillage working bodies' blades. It was determined that more than 30 percent of energy costs were accounted for by breaking the root system of the vegetation cover on virgin and fallow lands.

Keywords: artificial soil environment, tillage working bodies blades wear, fallow and old arable land, plant residues, traction resistance.

For citation: Liskin I.V., Mironova A.V. Obosnovanie iskusstvennoy pochvennoy sredy dlya laboratornykh issledovaniy iznosa i tyagovykh kharakteristik pochvovrezhushchikh rabochikh organov [Artificial soil environment justification for laboratory studies of wear and traction characteristics of soil-cutting working bodies]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N3. 53-58 (In Russian. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-3-53-58).

Исследование изнашивания почворезущих рабочих органов в полевых условиях имеет определенные сложности, связанные с непостоянством, неоднородностью пахотного слоя и изменяющимися погодными условиями [1]. В послеуборочный период большое влияние на эксплуатационные характеристики почворезущих деталей оказывают корневые и пожнивные остатки [2].

По этим причинам во многих случаях единственно возможные методы исследования – лабораторные, с использованием различных стендов, обеспечивающих взаимодействие образцов или фрагментов рабочих деталей с абразивными и другими частицами, присутствующими в почве [3].

Цель исследования – обосновать параметры искусственной почвенной среды, содержащей модели корневых и пожнивных остатков, для лабораторных исследований износа и тяговых характеристик почворезущих рабочих органов, эксплуатируемых на послеуборочных, целинных и залежных сельхозугодиях.

Материалы и методы. За основу приняли искусственную почвенную среду (ИПС), содержащую кварцевые частицы, пылевидный цемент и технический парафин [4, 5]. Она отличается от песчано-глинистых абразивных материалов, применяемых в иных лабораторных установках, например типа «вращающаяся чаша» или в почвенных каналах, в первую очередь стабильностью свойств в течение длительного времени.

Для изготовления блока ИПС применяют емкость, состоящую из двух цилиндрических баков разного диаметра. Между баками устанавливают нагревательный элемент и заливают воду. В середине внутреннего бака на крышке закрепляют шнековый смеситель. В бак засыпают твердый парафин. При необходимости к нему добавляют церезин или вазелин. Когда вода нагревается до 75-80°C, парафин расплавляется и принимает жидкое состояние. Затем вводят твердую фракцию, закрывают крышку, включают шнек. Полученная масса заливается в форму. После застывания форму разбирают, смесь готова к использованию.

Однако при всех достоинствах ИПС на основе песчано-парафиновых смесей имеется один пробел, присутствующий всем лабораторным установкам для исследо-

вания закономерности изнашивания почворезущих лезвий: невозможно моделировать почвенные условия с наличием корневых и пожнивных остатков, присутствующих реальным почвам по окончании уборочных работ, а также почвам целинных и залежных земель [6].

Для решения поставленной задачи в Федеральном научном агроинженерном центре ВИМ разработали искусственную почвенную среду на основе песчано-парафиновых смесей, содержащих нитевидные компоненты из капрона или хлопчатобумажных материалов.

Длину нитей определили исходя из критериев, основанных на теории подобия, одним из которых является масштабный фактор, характеризующий геометрическое подобие системы, а также необходимые и достаточные условия однозначности [7, 8]. Речь идет об отношении размера одного из компонентов, в данном случае длины растительного остатка корневой системы, входящего в единицу площади сечения почвенной среды, к величине аналогичного компонента, входящего в единицу площади сечения модели [9].

Для реальной почвы (натуры) геометрический критерий подобия выражается в виде:

$$\pi_n = \frac{l_n Q_n d_n}{S_n};$$

для ИПС этот показатель равен:

$$\pi_n = \frac{l_m Q_m d_m}{S_m},$$

где l_n – средняя длина волокна, мм;

Q_n – количество волокон, шт.;

d_n – диаметр волокна, мм;

S_n – единица площади сечения натуре, мм²;

l_m, Q, d_m, S_m – аналогичные параметры модели.

При условии $\pi_n \sim \pi_m$ будет соблюдаться идентичность процессов, происходящих в натуре и на модели.

Результаты и обсуждение. При обработке реальной почвы, например при вспашке, глубина составляет в среднем 200-250 мм, ширина захвата – 350-400 мм. Площадь сечения пласта при ширине захвата 350 мм равна $S_n = 200 \times 350 \text{ мм}^2$. На этой площади при вспашке послеуборочной стерни из-под зерновых



культур каждым корпусом плуга на одном погонном метре пахоты запахиваются 200-250 волокон корневой системы, средняя длина которых составляет 120-250 мм [10].

Примем $l_n = 200$ мм, $Q_n = 200$, $d_n = 2$ мм, $S_n = 200 \times 350$ мм². Тогда величина π_n равна 1,14.

Для определения критерия π_m рассмотрим некоторые параметры технической характеристики лабораторной установки, использующей в качестве ИПС песчано-парафиновые смеси.

Площадь сечения пласта S_m , возникающего при движении образца на модели, может составлять 0,5-6 мм по глубине, умноженной на ширину лезвия 10-30 мм. Длина отрезков нитевидных материалов $l_m = 5-20$ мм, $Q_m = 5-25$ отрезков на 0,1 м длины прохождения образца в ИПС, $d_m = 0,5-1,5$ мм.

Принимаем $l_m = 7$ мм, $Q_m = 12$, $d_m = 1$ мм, $S_m = 2,5 \times 30$ мм². В этом случае критерий подобия $\pi_m = 1,15$.

Таким образом, относительная разность значений π_n и π_m менее 1%, что указывает на достаточно точное подобие модели реальным почвенным условиям (натуре) [11].

Изменяя количество Q_m и длину l_m нитевидных материалов, можно моделировать процесс изнашивания лезвий рабочих органов почвообрабатывающих машин в различных почвенных условиях.

Приведем пример моделирования проблемных почв: целинных или задернелых, то есть запущенных земельных угодий. Для них характерны более насыщенная травяным покровом поверхность пахотного слоя и увеличенная длина волокон корневой системы. Глубина обработки увеличивается до 300-400 мм [12]. При этом ширина захвата плугов общего назначения как правило не меняется.

Площадь сечения пласта увеличивается за счет большей глубины обработки, а концентрация корневых волокон возрастает до 500-700 шт. на погонный метр пахоты. При этом длина волокон достигает 200-400 мм в зависимости от вида сорняков и другой травяной растительности [13].

Определим критерий π_n для реальных почвенных условий при вспашке целинных земель.

Примем $l_n = 350$ мм, $Q_n = 500$, $d_n = 2$ мм, $S_n = 350 \times 400$ мм². Тогда $\pi_n = 2,5$.

Проведем расчет критерия π_m для модели ИПС целинных и залежных земель. Примем следующие значения исследуемых параметров: $l_m = 20$ мм, $Q_m = 20$, $d_m = 1$ мм, $S_m = a_m h_m = 15 \times 3,5$ мм², где a_m – ширина лезвия, мм;

h_m – глубина резания, мм.

Тогда $\pi_m = 2,6$.

Сопоставляя численные значения π_n и π_m , нетрудно заметить, что различие между критериями не превышает 5%, что укладывается в рамки подобия модели натуральной среде [14].

Для проверки правильности выбранных величин,

характеризующих свойства модели, и обоснования адекватности разработанной модели реальным натурным условиям проведены расчеты критериев π для старопахотных почв после уборки зерновых культур (ячменя) применительно к Нечерноземной зоне России.

Глубина h_n пахоты подобных почв как правило составляет 180-250 мм, высота растительных остатков корневой системы – 100-250 мм [15]. Концентрация волокон $Q_n = 200-350$ шт. в площади сечения пласта на одном погонном метре длины прохождения рабочего органа. Средний диаметр растительных волокон $d_n = 2$ мм. В этом случае критерий подобия будет равен $\pi_n = 200 \times 250 \times 2 / 200 \times 200 = 2,5$.

Критерий π для модели определим исходя из значений параметров: $l_m = 5$ мм, $Q_m = 10$, $d_m = 1$ мм, $S_m = a_m h_m = 5 \times 2,5$ мм². Тогда $\pi_m = 2,5$.

Равенство значений критериев указывает на соблюдение необходимых и достаточных условий для исследования изнашивания почворезущих лезвий и их тяговых характеристик [16, 17].

Осенью 2019 г. в пос. Подвьязь Рязанской области на тяжелосуглинистом черноземе провели полевые эксплуатационные испытания двух пахотных агрегатов в составе тракторов МТЗ-82 с плугами ПЛН-3-35 с одинаковыми стандартными корпусами на вспашке залежных земель (рис. 1а) и поля после уборки ячменя (рис. 1б). Определили тяговое сопротивление плуга на каждом из полей.

Методика определения тягового сопротивления



Рис. 1. Виды полей: а – при вспашке залежных земель; б – при уборке зерновых культур

Fig. 1. Fields types: a – when fallow lands plowing; b – when crops harvesting

пахотных агрегатов подробно изложена в работах [18, 19]. Физико-механический состав и твердость почвы во время испытаний соответствовали среднестатистическим параметрам для подобных почв региона центральной полосы России. Твердость почвы на залежном участке составляла 3,8 МПа, на послеуборочном – 3,4 МПа. В задачу испытаний входило сопоставление тягового сопротивления на старопахотных и залежных почвах.

Получили результаты измерений тягового сопротивления при скоростях пахотных агрегатов 1,5; 2,0 и 2,5 м/с (табл. 1, рис. 2).

Результаты испытаний пахотных агрегатов показывают, что тяговое сопротивление плуга при обработке залежных земель на 25-30% выше, чем на ста-

ропахотных почвах после уборки урожая.

На залежных землях, помимо твердости, большое влияние оказывает связность плотной травянистой растительности. Вследствие этого энергетические затраты дополнительно расходуются на деформацию и разрыв корневой системы дернины [20, 21].

В лабораторных условиях исследовали тяговое со-

Таблица 1
ТЯГОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПАХОТНЫХ АГРЕГАТОВ, кН
TRACTION RESISTANCE OF ARABLE UNITS, kN

Агротехнический фон Agricultural background	Скорость агрегата, м/с Unit speed, m/s		
	1,5	2,0	2,5
Стерня / Stubble	11,4	11,9	13,0
Залежь / Long-fallow lands	14,6	15,5	17,5

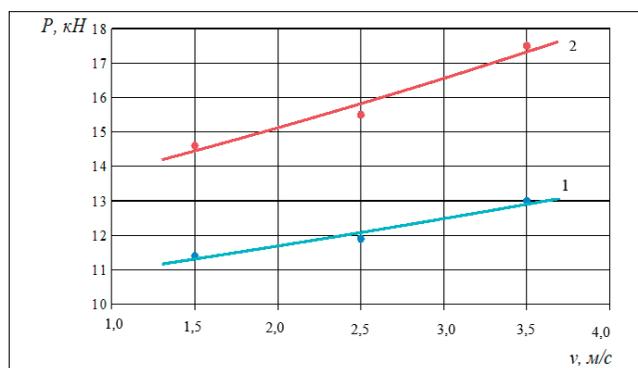


Рис. 2. Зависимость тягового сопротивления от скорости пахотных агрегатов: 1 – на стерне; 2 – на залежи

Fig. 2. The dependence of traction resistance on the arable units speed: 1 – on the stubble; 2 – on long-fallow lands

противление плуга и почворезущего лезвия при различной твердости почв и ИПС. С увеличением твердости на 20% тяговое сопротивление возросло на 7-10% в почвенной среде и на 6-8% в ИПС.

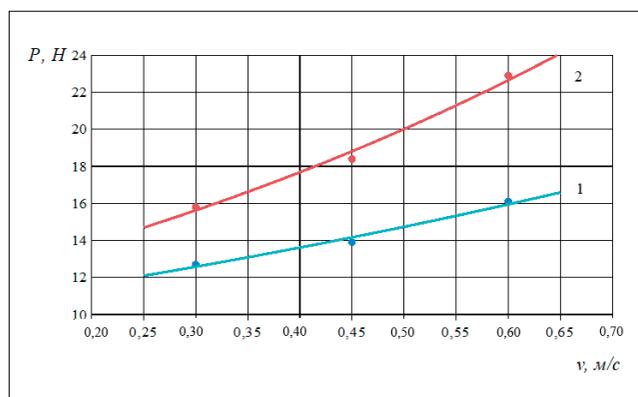


Рис. 4. Зависимость усилий резания от скорости движения лезвия образца: 1 – на модели старопашотной почвы; 2 – на модели залежной почвы

Fig. 4. The dependence of cutting forces on the movement speed of the sample blade: 1 – on the model of old-arable soil; 2 – on the model of fallow soil

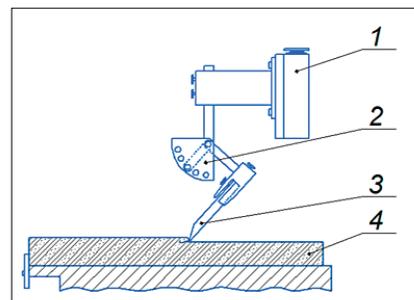


Рис. 3. Общий вид и схема лабораторной установки:

1 – ползун с динамометром; 2 – держатель; 3 – почворезущее лезвие; 4 – искусственная почвенная среда

Fig. 3. General view and layout of the laboratory unit:

1 – slider with a dynamometer; 2 – holder; 3 – soil-cutting blade; 4 – artificial soil

Проведенные нами полевые испытания показали, что на залежном участке поля тяговое сопротивление пахотного агрегата возросло на 30% по сравнению со старопахотным участком. Таким образом, на разрыв травяного покрова залежных земель расходуется более 1/3 энергетических затрат при работе пахотного агрегата.

Определим зависимость тягового сопротивления лезвия образца, режущего слой абразивного материала ИПС, в состав которой входят хлопчатобумажные нити (рис. 3). Для модели, отражающей целинные и залежные земли, примем значения параметров: $l_m = 15$ мм, $Q_m = 20$, $d_m = 1$ мм, $a_m = 25$ мм, $h_m = 5$ мм.

Скорость движения ползуна установки, на котором закрепляли образцы, составляла 0,30; 0,45 и 0,60 м/с. Твердость ИПС измеряли по методу Бринелля. Этот показатель повысили на 12%, по сравнению со старопахотными землями, посредством введения в парафин церезина, как в натуральных исследованиях. Для обеспечения подобия ИПС почве суглинистого состава в нее добавили 30% пылевидного цемента. Для модели, отражающей старопахотные земли, примем значения $l_m = 10$ мм, $Q_m = 10$, $d_m = 1$ мм, $a_m = 25$ мм, $h_m = 5$ мм. Церезин в данном исследовании не применяли.

Образцы, движущиеся в ИПС, моделирующей залежные земли, испытывают тяговое сопротивление на 25-35% больше, чем ИПС, моделирующее старопахотные земли (табл. 2, рис. 4). Это указывает на идентичность процессов в природе и на модели [21].

Изменяя состав ИПС, в частности соотношение кварцевых частиц и пылевидного цемента, соотношение между парафином и церезином или техническим

Таблица 2
УСИЛИЕ РЕЗАНИЯ ЛЕЗВИЯ ОБРАЗЦА МОДЕЛИ ПОЧВЫ, Н
THE CUTTING FORCE OF THE BLADE SAMPLE MODEL SOIL, N

Модель искусственной почвенной среды Model of artificial soil	Скорость резания, в, м/с Cutting speed, v, m / s		
	0,30	0,45	0,60
Стерня / Stubble	12,7	13,9	16,1
Залежь / Long-fallow lands	15,8	18,4	22,9



вазелином, а также количеством и длиной отрезков нитей, можно получить широкий спектр физико-механических свойств модели почвы (ИПС), отражающих большинство пахотных угодий России.

Если в блок ИПС добавить более крупные фрагменты, например дробленый до 3-5 мм гравий или щебень, то можно получить почвенную модель с каменистыми включениями. В данной работе таких исследований не проводилось. И, наконец, одним из важнейших преимуществ ИПС на основе твердых частиц и парафина стала стабильность ее свойств в течение длительного времени, что значительно снижает ошибки в опытах.

Выводы

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сидоров С.А., Миронов Д.А., Поткин С.Н., Лискин И.В. Комбинированные лабораторные исследования материалов рабочих органов на абразивный износ // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2016. Т. 10. №6. С. 21-26.
2. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Сизов В.А., Волобуев В.А. Технологии и технические средства для восстановления неиспользуемых и деградированных сельхозугодий // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2009. Т. 3. №4. С. 17-21.
3. Смагин А.В. Теория и практика конструирования почв. М.: Издательство Московского университета. 2012. 544 с.
4. Karmakar S., Lal Kushwaha R. CFD Simulation of Soil Forces on a Flat Tillage. *Ah ASAE Meeting Presentation*. 2005. N2. 56-61.
5. Веников В.А. Теория подобия и моделирования. М.: Высшая школа. 1976. 480 с.
6. Лискин И.В., Лобачевский Я.П., Миронов А.Д., Сидоров С.А., Панов А.И. Результаты лабораторных исследований почворезущих рабочих органов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №4. С. 41-47.
7. Алабушев П.М., Геронимус В.Б., Минкевич Л.М., Шевцов Б.А. Теория подобия и размерностей. М.: Высшая школа. 1968. 205 с.
8. 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.
9. Mudarisov S.G., Gabitov I.I., Lobachevsky Y.P., Masitov N.K., Rakhimov R.S., Khamaletdinov R.R., Rarhimov I.R., Farkhutdinov I.M., Mukhametdinov A.M., Gareev R.T. Modeling the technological process of tillage. *Soil & Tillage Research*. 2019. Vol. 190. 70-77.
10. Zhou C.-Y., Kong L.-H., Cui G.-J., Yu K., Liu Z. Molding simulation of soft rock based on natural red bed materials. *Rock and Soil Mechanics*. 2020. Vol. 41. N2. 419-427.
11. Васенов И.И., Бузылев А.В., Курбатова Ю.А., Руднев Н.И., Тиунов А.И., Чистотин М.В. Агрэкологическое моделирование и проектирование. М.: РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. 2010. 120 с.
12. Лобачевский Я.П. Прочностные и деформационные свойства связных задерненных почв // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2011. Т. 5. №3. С. 18-20.
13. Каштанов А.Н., Сизов О.А. Проблемы восстановления угодий, выбывших из сельскохозяйственного использования // *Экономика сельского хозяйства России*. 2008. N11. С. 174-176.
14. Мазитов Н.К., Шогенов Ю.Х., Ценч Ю.С. Сельскохозяйственная техника: решения и перспективы // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. N3(32). С. 94-100.
15. Flenniken J.I., Hefner R.E., Weber I.A. Dynamic soil strength parameters from unconfined compression tests. *Transaction of the ASAE*. 1977. Vol. 20. N1. 21-25.
16. Raper R.L., Reeves D.W., Burt E.C. Using in-row subsoiling to minimize soil compaction caused by traffic. *Journal of Cotton Science*. 1998. N2. 130-135.
17. 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.
18. Чертов О.Г., Комаров А.С., Надпорожская М.А., Михайлов А.В., Быховец С.С., Зудин С.Л., Зубкова Е.В. Динамическое моделирование процессов трансформации органического вещества почв. Имитационная модель ROMUL. Санкт-Петербургский государственный университет. 2007. 96 с.
19. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И., Чемисов Н.Н. Энергетическая и технологическая оценка почвообрабатывающего рабочего органа // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2015. N5. С.10-13.
20. Лискин И.В., Миронов Д.А., Курбанов Р.К. Обоснование параметров искусственной почвенной среды для лабораторного исследования изнашивания лезвия // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N4. С. 37-42.
21. Измайлов А., Ю., Лобачевский Я.П., Лискин И.В., Миронов Д.А., Хорошенков В.К., Сидоров С.А. Повышение конструкционной прочности рабочих органов почвообрабатывающих машин // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2018. N3. С. 57-60.

REFERENCES

1. Sidorov S.A., Mironov D.A., Potkin S.N., Liskin I.V. Kombinirovannye laboratornye issledovaniya materialov rabochikh organov na abrazivnyy iznos [Combined laboratory research of materials of working bodies for abrasive wear]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016. Vol. 10. N6. 21-26 (In Russian).
2. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Sizov V.A., Volobuev V.A. Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya vosstanovleniya neispol'zuemykh i degradirovannykh sel'khozugodiy [Technologies and technical means for restoration of unused and degraded farmland]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2009. Vol. 3. N4. 17-21 (In Russian).
3. Smagin A.V. Teoriya i praktika konstruirovaniya pochv [Theory and practice of soil construction]. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta. 2012. 544 (In Russian).
4. Karmakar S., Lal Kushwaha R. CFD Simulation of Soil Forces on a Flat Tillage. *Ah ASAE Meeting Presentation*. 2005. N2. 56-61 (In English).
5. Venikov V.A. Teoriya podobiya i modelirovaniya. [Theory of similarity and modeling]. Moscow: Vysshaya shkola. 1976. 480 (In Russian).
6. Liskin I.V., Lobachevskiy Ya.P., Mironov A.D., Sidorov S.A., Panov A.I. Rezul'taty laboratornykh issledovaniy pochvovozhushchikh rabochikh organov [The results of laboratory studies of soil-cutting working bodies]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. N4. 41-47 (In Russian).
7. Alabuzhev P.M., Geronimus V.B., Minkevich L.M., Shekhotov B.A. Teoriya podobiya i razmernostey. [Theory of similarity and dimensions]. Moscow: Vysshaya shkola. 1968. 205 (In Russian).
8. Izmaylov A.Yu., Liskin I.V., Lobachevskiy Ya.P., Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K., Mironova A.V., Luzhnova E.S. Primenenie teorii podobiya dlya modelirovaniya iznosa pochvovozhushchikh lezviy v iskusstvennoy abrazivnoy srede [Application of similarity theory for modeling the wear of soil-cutting blades in an artificial abrasive medium]. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*. 2016. N6. 48-51 (In Russian).
9. Mudarisov S.G., Gabitov I.I., Lobachevskiy Ya.P., Masitov N.K., Rakhimov R.S., Khamaletdinov R.R., Rakhimov I.R., Farkhutdinov I.M., Mukhametdinov A.M., Gareev R.T. Modeling the technological process of tillage. *Soil & Tillage Research*. 2019. Vol. 190. 70-77.
10. Zhou C.-Y., Kong L.-H., Cui G.-J., Yu K., Liu Z. Molding simulation of soft rock based on natural red bed materials. *Rock and Soil Mechanics*. 2020. Vol. 41. N2. 419-427.
11. Vasenov I.I., Buzylev A.V., Kurbatova Yu.A., Rudnev N.I., Tiunov A.I., Chistotin M.V. Agroekologicheskoe modelirovanie i proektirovanie [Agroecological modeling and design]. Moscow: RGAU-MSKha imeni K.A. Timiryazeva. 2010. 120.
12. Lobachevskiy Ya.P. Prochnostnye i deformatsionnye svoystva svyaznykh zadernennykh pochv [Strength and deformation properties of cohesive sod soils]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2011. Vol. 5. N3. 18-20 (In Russian).
13. Kashtanov A.N., Sizov O.A. Problemy vosstanovleniya ugodiy, vybyvshikh iz sel'skokhozyaystvennogo ispol'zovaniya [Problems of restoration of land retired from agricultural use]. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii*. 2008. N11. 174-176 (In Russian).
14. Mazitov N.K., Shogenov Yu.Kh., Tsench Yu.S. Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: resheniya i perspektivy [Agricultural machinery: solutions and prospects]. *Vestnik VIESH*. 2018. N3(32). 94-100 (In Russian).
15. Flenniken J.I., Hefner R.E., Weber I.A. Dynamic soil strength parameters from unconfined compression tests. *Transaction of the ASAE*. 1977. Vol. 20. N1. 21-25 (In English).
16. Raper R.L., Reeves D.W., Burt E.C. Using in-row subsoiling to minimize soil compaction caused by traffic. *Journal of Cotton Science*. 1998. N2. 130-135 (In English).
17. Mironov D.A., Liskin I.V., Sidorov S.A. Vliyaniye geometricheskikh parametrov dolota na tyagovye kharakteristiki i resurs lemkhov otechestvennykh plugov [Influence of geometric parameters of the bit on the traction characteristics and resource of ploughshares of domestic ploughshares]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2015. N6. 25-29 (In Russian).
18. Chertov O.G., Komarov A.S., Nadporozhskaya M.A., Mikhaylov A.V., Bykhovets S.S., Zudin S.L., Zubkova E.V. Dinamicheskoe modelirovanie protsessov transformatsii organicheskogo veshchestva pochv. Imitatsionnaya model' ROMUL [Dynamic modeling of soil organic matter transformation processes. The simulation model ROMUL]. Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy universitet. 2007. 96 (In Russian).
19. Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I., Chemisov N.N. Energeticheskaya i tekhnologicheskaya otsenka pochvoobrabatyvayushchego rabochego organa [Energy and technological assessment of the tillage working body]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2015. N5. 10-13 (In Russian).
20. Liskin I.V., Mironov D.A., Kurbanov R.K. Obosnovanie parametrov iskusstvennoy pochvennoy sredy dlya laboratornogo issledovaniya iznashivaniya lezviya [Justification of parameters of artificial soil environment for laboratory research of blade wear]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017. N4. 37-42 (In Russian).
21. Izmaylov A., Yu., Lobachevskiy Ya.P., Liskin I.V., Mironov D.A., Khoroshenkov V.K., Sidorov S.A. Povysheniye konstruksionnoy prochnosti rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Increasing the structural strength of the working bodies of tillage machines]. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*. 2018. N3. 57-60 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

**Статья поступила в редакцию 02.03.2020
The paper was submitted
to the Editorial Office on 02.03.2020**

**Статья принята к публикации 25.08.2020
The paper was accepted
for publication on 25.08.2020**



Сошники для выращивания экологически безопасной сои

Виктор Владимирович Епифанцев,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: viktor.iepifantsiev.59@mail.ru;
Яков Александрович Осипов,
кандидат технических наук, доцент,
старший научный сотрудник,
e-mail: yakov.osipov.65@mail.ru;

Юрий Александрович Вайтехович,
младший научный сотрудник,
e-mail: yura_16_94@mail.ru

Дальневосточный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства, г. Благовещенск, Российская Федерация

Реферат. Показали, что при полосном посеве лаповым сошником растения сои лучше ветвятся, причем ветви с листьями соседних рядков длительное время не смыкаются, скашивание растительности между полосами позволяет снизить общую численность сорняков, химическую нагрузку на посевы и обеспечивает экологическую безопасность продукции. (*Цель исследования*) Определить параметры распределения семян лаповым сошником по площади полосы посева и глубине заделки семян, установить влияние видов сошников на засоренность посевов и урожайность сои после различных предшественников. (*Материалы и методы*) Изучили равномерность распределения семян сои лаповым сошником на поверхности желобковой ванночки, липкой ленты и в почве по показателям: ширине разброса, числу семян на единице площади и глубине заделки. Провели сравнительный полевой эксперимент, в разные по метеорологическим условиям годы на типичной луговой черноземовидной почве осуществили посев сои сеялками с сошниками двух конструкций после различных предшественников: пара, пшеницы и сои. (*Результаты и обсуждение*) Показали, что почве канала на глубине 0,05 метра лаповый сошник обеспечивает заданную ширину полосы посева 0,18-0,20 метра. Определили отклонение от равномерности распределения высеянных семян по площади, которое составило 0,93-1,56 процента. Выявили, что полосной посев лаповым сошником и дальнейшее скашивание сорных растений между полосами снижают засоренность посевов сои после пара на 67,7 процента, после пшеницы – на 66,5 процента и после сои – на 65,4 процента, повышая ее урожайность в сравнении с рядовым посевом дисковым сошником. (*Выводы*) Установили закономерное увеличение урожайности сои при посеве лаповым сошником: после чистого пара – на 0,59 тонны с гектара, после пшеницы – на 0,51, после сои – на 0,21 тонны. Предложили для выращивания экологически безопасных семян сои в условиях Приамурья использовать сеялки с лаповыми сошниками шириной 0,2 метра, расставленными на расстоянии 0,6 метра друг от друга.
Ключевые слова: лаповый сошник, полосной посев, предшественник, засоренность посевов, соя, урожайность.

Для цитирования: Епифанцев В.В., Осипов Я.А., Вайтехович Ю.А. Сошники для выращивания экологически безопасной сои // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №3. С. 59-65 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-3-59-65.

Plowshare for Growing Ecologically Safe Soybeans

Victor V. Epifantsev,
Dr.Sc.(Agr.), professor, leading researcher,
e-mail: viktor.iepifantsiev.59@mail.ru;
Yakov A. Osipov,
Ph.D.(Eng.), associate professor, senior researcher,
e-mail: yakov.osipov.65@mail.ru;

Yuriy A. Vaytekhovich,
junior researcher,
e-mail: yura_16_94@mail.ru

Far Eastern Scientific Research Institute of Mechanization and Electrification of Agriculture, Blagoveshchensk, Russian Federation

Abstract. The authors showed that strip sowing with the paw plowshare allows soybean plants to branch better, and branches with leaves of nearby rows do not close for a long time, mowing vegetation between the strips reduces the total number of

weeds, the chemical load on the crops, and ensures environmental safety of the products. (*Research purpose*) To determine the seed distribution parameters by the paw plowshare according to the area of the sowing strip and the depth of seed placement, to establish the effect of the plowshare of different types on the weediness of crops and soybean yield after various preceding crops. (*Materials and methods*) The authors studied the equability of soybean seeds distribution with the paw plowshare on the surface of the grooved tub, adhesive tape, and in the soil according to the following indicators: spread width, number of seeds per unit area, and placement depth. They conducted a comparative field experiment; in different years according to meteorological conditions, on a typical meadow black earth soil, soybean was sown with seeders with plowshare of two designs after various preceding crops: steam, wheat and soy. (*Results and discussion*) It was determined that the paw plowshare the specified sowing row width of 0.18-0.20 meters at the channel soil at a depth of 0.05 meters. The deviation from the equability of the sown seeds distribution over the area was determined 0.93-1.56 percent. It was found that strip sowing with the paw plowshare and further mowing of weeds between the strips reduced the weediness of soybean crops after fallow land by 67.7 percent, after wheat by 66.5 percent and after soybean by 65.4 percent, increasing its yield compared to ordinary sowing with a disc plowshare. (*Conclusions*) The authors established a regular increase in soybean productivity when sowing with the paw plowshare: after naked fallow – by 0.59 tons per hectare, after wheat – by 0.51, after soy – by 0.21 tons. They suggested using seeders with paw plowshare 0.2 meters wide at a distance of 0.6 meters from each other for growing ecologically safe soybean seeds in the Amur region.

Keywords: paw plowshare, strip sowing, preceding crop, crops weediness, soybean, productivity.

For citation: Epifantsev V.V., Osipov YA.A., Vaytekhovich Yu.A. Soshniki dlya vyrashchivaniya ekologicheskii bezopasnoy soi [Plowshare for growing ecologically safe soybeans]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. T. 14. N3. 59-65 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-3-59-65.

Площадь питания растений зависит от способа и техники проведения посева. Размер и конфигурация площади питания растений обуславливают величину и качество получаемой продукции. Оптимальная норма насаждений большинства сортов сои, возделываемых в Приамурье, установлена в пределах 800 тыс. растений на 1 га [1].

При увеличении ширины междурядий в посевах с одинаковой густотой, изменяется (вытягивается) конфигурация площади питания, расстояние между семенами и растениями сокращается. При близком расположении семян друг к другу возрастает скорость и дружность появления всходов, в рядках раньше отмечается затенение полосы посева, из-за этого сокращается численность сорных растений. При благоприятных условиях в период вегетации соя в рядках подавляет рост и развитие сорняков [2]. Опасность распространения болезней и вредителей возрастает при близком расположении растений друг к другу. Для борьбы с ними необходимо применять фунгициды, инсектициды и гербициды [3]. При широких междурядьях растения сои лучше ветвятся, а ветви с листьями соседних рядков длительное время не смыкаются, что дает возможность увеличивать количество междурядных обработок [4]. Проветриваемые междурядья снижают заболеваемость растений сои и поражаемость их вредителями, а скашивание растительности сокращает общую численность сорняков, химическую нагрузку на посеvy, обеспечивая экологическую безопасность продукции.

Цель исследования – разработать лаповый сошник, подрезающий и рыхлящий верхний пласт почвы, одновременно уничтожающий сорняки в полосе посева, обеспечивающий равномерное распределение

семян по площади полосы и глубине заделки, позволяющий в дальнейшем при уходе за растениями отказаться от использования гербицидов и получать высокий урожай экологически безопасной продукции сои в условиях Приамурья.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Лабораторные исследования выполняли в 2016 г. лаповыми сошниками в желобковой ванночке и на почвенном канале ДальНИИМЭСХ согласно существующим методикам.

Для экспериментальных исследований были изготовлены лаповые сошники (рис. 1). Сошник крепится к посевной секции при помощи стойки. Стрельчатая лапа подрезает и рыхлит пласт почвы, одновременно уничтожая сорняки. Осыпанию почвы до посева семян препятствует пластина. Семена по семяпроводу попадают на распределительное устройство, закрепленное в нижней части стрельчатой лапы, и равномерно высеваются в почву широкой полосой, обеспечивая оптимальную площадь питания растений [4].

Угол крошения стрельчатой лапы должен быть 12-18° [5]. Высота установки стрельчатой лапы над лезвием может в 1,5 раза превышать глубину обработки почвы [6].

Для определения ширины и равномерности распределения семян в засеваемой полосе лаповый сошник устанавливали на специальную жестяную ванночку, разделенную перегородками по 0,01 м (рис. 2).

В сошник подавали семена сои, посеянные за 10 оборотов катушки, которые, проходя через семяпровод, попадали на распределительное устройство, а затем рассеивались в желобках ванночки. Четырехкратным подсчетом числа семян сои в каждом желобке определяли равномерность распределения их в поло-

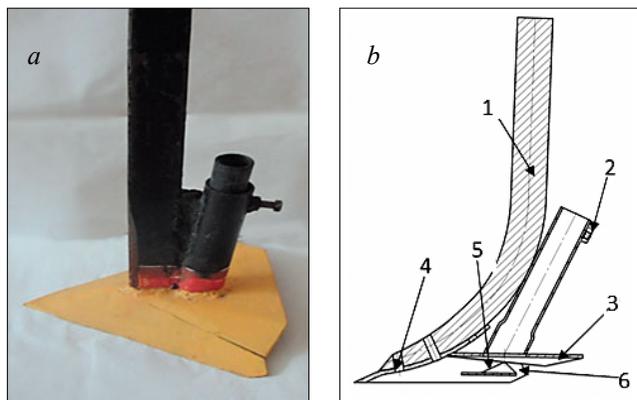


Рис. 1. Образец (а) и схема (б) лапового сошника:
1 – стойка; 2 – семяпровод; 3 – пластина; 4 – стрельчатая лапа; 5 – распределительное устройство; 6 – эластичная пластина

Fig. 1. Sample (a) and pattern (b) of the paw plowshare:
1 – rack; 2 – seed pipeline; 3 – plate; 4 – lancet paw;
5 – switchgear; 6 – elastic plate



Рис. 3. Экспериментальная установка с лаповым сошником на почвенном канале

Fig. 3. Experimental installation with a paw plowshare on the soil channel



Рис. 2. Распределение семян сои лаповым сошником в желобковой ванночке

Fig. 2. Distribution of soybean seeds by the paw plowshare in the grooved tray

се сошника. Линейкой измеряли ширину полосы посева семян сои. Равномерность распределения семян в полосе посева определяли путем прохода сошника над липкой лентой, разложенной на почвенном канале (рис. 3). Лаповый сошник установили на высоте 0,03 м от поверхности почвы на лабораторной установке, которая двигалась по рельсам почвенного канала. С высевающего аппарата через семяпровод семена попадали на распределительное устройство и рассеивались полосой по липкой ленте. Ширину полосы и равномерность посева на липкой ленте определяли четырехкратно подсчетом семян и измерением расстояний линейкой.

Показатели посева лаповым сошником в почву измеряли при скоростях движения 2,22; 2,79 и 3,34 м/с. Скорость движения установки изменяли передаточ-

ным отношением привода экспериментальной установки.

Полевой эксперимент провели в 2017-2019 гг. на опытном поле ДальНИИМЭСХ, находящемся в Тамбовском районе Амурской области, на типичной луговой черноземовидной почве. Содержание гумуса в почве (по Тюрину) – 4,5-4,7%, нитратного азота ионометрическим методом – 40,2-44,7 мг/кг почвы; подвижного фосфора (по Кирсанову) – 55-58 мг/кг, калия (по Кирсанову) 150-190 мг/кг почвы; реакция почвенной среды среднекислая (рН KCl 5,0-5,2).

Летний сезон 2017 г. был самым теплым и сухим. Погодные условия в летнее время 2018 г. по температурным показателям превышали многолетние данные на 0,3°C, а по сумме осадков были выше нормы на 137 мм. В летний период 2019 г. температура воздуха была на 0,3°C меньше многолетней, а сумма осадков больше на 152 мм.

В 2017-2019 гг. заложен опыт по изучению влияния видов сошников на засоренность посевов и урожайность сои после различных предшественников. Схема двухфакторного опыта представлена следующими вариантами.

Фактор А – посев сошником: дисковым – контроль (St); лаповым шириной полосы 0,20 м. Посев сеялками, оборудованными дисковыми сошниками (междурядье 0,15 м) практикуют в крупных, средних и мелких сельхозпредприятиях области.

Фактор В – предшественники: чистый пар – контроль (St); пшеница; соя. Посев сои хозяйства практикуют после всех указанных предшественников, но наибольшую урожайность получают после чистого пара.

Площадь посевной делянки 270 м², учетной – 180 м², размещение делянок – систематическое, повторность – трехкратная.

Осеннюю обработку почвы на глубину 0,28 м провели агрегатом *Lemken Karat 9/400* [7-9]. Весенняя подготовка участка включала: ранневесеннее боронование 15-17 апреля, дискование с боронованием в 2017 г. – 7 мая, в 2018-2019 гг. 11-12 мая. Посев сои проводили сеялкой СН-3,6 Л конструкции ДальНИИМ-ЭСХ, с шириной полосы 0,2 м, лаповыми сошниками шириной 0,2 м, расстановленными на расстоянии 0,6 м друг от друга. Колеса трактора МТЗ-80 при посеве двигались между полосами посева сои. Для сплошного посева сои использовали сеялку СЗ-5,4 с дисковыми сошниками, расстановленными на расстоянии 0,15 м друг от друга. В опытах сеяли сорт сои Лазурная. Сроки посева: 20 мая (2017 г.), 21 мая (2018 г.) и 23 мая (2019 г.). Норма высева – 750-800 тыс. шт./га. Глубина заделки семян – 0,05 м. После посева проводили прикатывание. Уход включал боронование до всходов и по всходам сои, в полосных посевах скашивание сорных растений между полосами сои в середине июня и середине июля. Боронование посевов сои проводили легкими боронами БПРЗ – 1,2 конструкции ДальНИИМЭСХ [10-12]. Убирали урожай комбайном *JohnDeer 3316*. При учете взвешивали намолоченные семена с каждой делянки опыта.

В опытах проводили следующие сопутствующие исследования: фенологические наблюдения – изучали фазы роста и развития сои (начало – у 10% растений, массовое прохождение – более чем у 50%, окончание – не менее чем у 80%), определяли засоренность посевов по общепринятым методикам [13]. Полученные данные обрабатывали методом дисперсионного анализа по Б.А. Доспехову [10, 14, 16].

Результаты и обсуждение. Сошник в почве прокладывает борозду и распределяет в ней семена. От него требуется:

- очищать посевное ложе от органических остатков;
- укладывать семена в посевной горизонт;
- иметь хорошую самоочистку;
- соблюдать постоянную глубину посева;
- прикрывать семена достаточным количеством земли и вдавливать их в посевной горизонт;
- быстро приспосабливать давление под изменившиеся условия;
- иметь защиту от камней для бесперебойной работы;
- обеспечивать оптимальное качество высева даже при скорости до 20 км/ч;
- иметь длительный срок службы и низкие затраты на обслуживание.

Положительные стороны двухдисковых сошников:

- хорошая пригодность для посева по мульче;
- высокое качество укладки семян;
- центрированное движение.

Из недостатков следует отметить сложную конструкцию.

Плюсы долотовидных сошников:

- очень хорошая пригодность для посева по мульче;
- высокая производительность;
- возможность прямого посева;
- простая конструкция машины.

Отрицательные стороны: при использовании машин с рамной конструкцией поверхность поля должна быть хорошо выровнена; при посеве по мульче необходима предварительная обработка культиватором.

В желобковой ванночке после прохода через лаповый сошник 80-90% семян распределялись в желобках между 0,04 и 0,21 м линейки. В ней создается основная полоса посева шириной 0,17 м. Отклонение распределения семян по площади в этом варианте от среднего показателя было $\pm 1,26-2,53\%$. На липкой ленте лаповый сошник обеспечивал ширину полосы посева семян сои 0,20-0,24 м с таким же отклонением по площади посева, как и в контрольном варианте. Полученный результат не превышает агротехнического норматива – не более 5% [15, 17].

В почве канала на глубине 0,05 м лаповый сошник обеспечил ширину полосы посева 0,18-0,20 м. Отклонение от равномерности распределения высеянных семян по площади составило $\pm 0,93-1,56\%$.

В опыте фактическое значение критерия Фишера F_{ϕ} равно 14,16, что больше табличного значения критерия для 5%-ного уровня значимости $F_{0,05} = 4,10$, следовательно, есть существенные различия по вариантам на 5%-ном уровне значимости, и нулевая гипотеза $H_0: d = 0$ отвергается. При оценке существенности частных различий получили ошибку разности средних $S_d = 0,822$ шт., наименьшую существенную разность $HCP_{0,05}$ для 5%-ного уровня значимости в абсолютных показателях 1,86 шт. и относительных – 2,37% (табл. 1).

Посев поднятым лаповым сошником на высоте 0,03 м в почвенном канале на липкую ленту обеспечивает существенный разброс семян по площади, а при посеве в почву на глубину 0,05 м статистически несущественно повышает рассев семян по площади полосы на 5%-ном уровне значимости.

Агротехническая оценка сеялки СП-3,6 конструкции ДальНИИМЭСХ показала, что показатели работы экспериментальных сошников на посеве сои полосным способом шириной полосы 0,4 м, установленных на параллелограммные грядки, соответствовали требованиям, предъявляемым к равномерности глубины посева. Этот показатель составил в среднем $0,051 \pm 0,015$ м при $\sigma = 0,015$ м и $V = 9,14\%$, ширина полосы равна $0,19 \pm 0,067$ м при $\sigma = 0,031$ м и $V = 13,71\%$.

В полевом опыте 2017-2019 гг. на делянках контрольного варианта, где предшественник чистый пар, с рядовым способом посева сои, в среднем было $12,7 \pm 3,0-3,1$ шт./м² различных видов сорняков, причем они равномерно размещались по всей площади. При посеве сои сплошным рядовым способом после пшеницы число сорняков увеличивалось на $8,2 \pm 2,6-$



Таблица 1 Table 1

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СЕМЯН ПО ПЛОЩАДИ В ЛАБОРАТОРНОМ ОПЫТЕ, ШТ./М²
DISTRIBUTION OF SEEDS BY AREA IN LABORATORY EXPERIMENT, PCS./M²

Вариант Option	Число семян Seed Number	Разность со стандартом Difference from standard		Группа Group
		шт./м ² pcs./m ²	%	
В желобковой ванночке In the grooved tray	79,0	–	–	S _t
На липкой ленте On a sticky tape.	76,0	–3,0	–3,8	I
В почве канала In soil chanhal	80,3	1,3	1,6	II
HCP ₀₅ , шт./м ² HCP ₀₅ , pcs./m ²	–	1,9	2,4	–

3,5 по сравнению с контрольным вариантом. Самое большое количество сорняков было на делянках с рядовым посевом сои после сои – 25,7±2,9 шт./м², размещение их на площади аналогично предыдущим вариантам. По числу до 30 шт./м², массе до 200 г/м² и доле в посевах сои до 10-15% этот вариант был близок к критическому порогу вредоносности [16].

При полосном посеве сои лаповым сошником после пара в среднем было 4,1±1,1 шт./м² различных видов сорняков. После пшеницы их число возросло на 2,9±1,3-1,4 шт./м², а после сои увеличилось на 4,8±0,8-1,2 шт./м² по сравнению с паром. По предшественникам отмечали аналогичную зависимость засоренности посевов сои, как и при посеве дисковым сошником сплошным рядовым способом. При этом количество культурных растений на делянках совпадало с предыдущими вариантами – 68-72 шт./м².

Полосный посев лаповым сошником и дальнейшее скашивание сорных растений между полосами значительно снижают засоренность посевов сои: после пара – на 67,7%, после пшеницы – на 66,5%, после сои – на 65,4% в сравнении с рядовым посевом дисковым сошником (табл. 2).

Во все годы исследований как по фактору А, так и по фактору В и их взаимодействию различия по всем вариантам опыта существенны. При оценке суще-

ственности частных различий ошибка разности средних по засоренности посевов в 2017 г. составила S_d=1,76 шт./м², в 2018 г. – 1,81 и в 2019 г. – 1,71 шт./м².

Максимальная величина урожайности сои достигается при посеве лаповым сошником по предшественнику чистый пар: в среднем за 3 года она превышала контрольный вариант на 0,59 т/га. В варианте посева сои лаповым сошником после зернового предшественника также выявлена существенная и достоверная прибавка урожайности – 0,12 т/га к контролю. В сравнении с чистым паром прослеживается закономерность снижения урожайности сои при посеве дисковым сошником на 0,39-0,69 т/га после предшественников пшеница и соя. Аналогичны результаты при посеве сои полосным способом лаповым сошником. Урожайность снизилась на 0,47 т/га при размещении посевов после пшеницы и на 1,07 т/га – после сои по сравнению с таким же посевом после чистого пара (табл. 3).

Действие и взаимодействие изучаемых факторов значимо на 5% уровне (F_ф>F₀₅), нулевая гипотеза по критерию Тьюки H₀:d = 0 отвергается. Абсолютная ошибка разности средних по урожайности сои в 2017 г. составила S_d= 0,012 т/га, в 2018 г. – 0,011, в 2019 г. – 0,009 т/га. Относительная величина HCP₀₅ по урожайности сои в 2017 г. равна 2,02%, в 2018 г. – 1,69, в 2019 г. –

Таблица 2 Table 2

ВЛИЯНИЕ ПРЕДШЕСТВЕННИКА И СПОСОБА ПОСЕВА НА ЗАСОРЕННОСТЬ СОИ, ШТ./М²
INFLUENCE OF PREDECESSORS AND SOWING METHOD ON SOYBEAN INFESTATION, PCS./M²

Предшественник, В Preceding crop, B	Способ посева, А Sowing method, A	2017 г.	2018 г.	2019 г.	Среднее значение Average value	% к АВ контролю % for AB control
Пар St Steam St	рядовой St/ row St	15,7	12,9	9,6	12,7	–
	полосной / strip	5,2	4,1	3,0	4,1	– 67,7
Зерновые Cereals	рядовой St/ row St _t	23,5	21,7	17,4	20,9	+64,6
	полосной / strip	8,3	7,1	5,6	7,0	– 44,9
Соя Soy	рядовой St/ row St	28,6	25,8	22,8	25,7	+102,4
	полосной / strip	10,1	8,6	8,1	8,9	– 29,9
HCP ₀₅ , т/га / HCP ₀₅ , pcs./m ² : по фактору А / by factor A по фактору В / by factor B по взаимодействию АВ / by AB interaction		1,1 3,2 3,8	1,6 3,5 3,9	1,9 3,2 3,7	–	–

Сошник, <i>A</i> Plowshare, <i>A</i>		Предшественник, <i>B</i> Preceding crop, <i>B</i>	2017 г.	2018 г.	2019 г.	Среднее значение Average value	% к <i>AB</i> контролю % for <i>AB</i> control
Дисковый <i>St</i> Disk	пар <i>St</i> / steam <i>St</i>		1,49	1,23	1,68	1,47	–
	зерновые / cereals		1,16	1,06	1,02	1,08	–26,53
	соя / soy		0,82	0,77	0,74	0,78	–46,94
Лаповый <i>Paw</i>	пар <i>St</i> / steam <i>St</i>		1,87	2,29	2,02	2,06	+40,14
	зерновые / cereals		1,45	1,75	1,59	1,59	+8,16
	соя / soy		0,94	1,02	1,01	0,99	–32,65
<i>HCP</i> ₀₅ , т/га / <i>HCP</i> ₀₅ , t/ha: по фактору <i>A</i> / by factor <i>A</i> по фактору <i>B</i> / by factor <i>B</i> по взаимодействию <i>AB</i> / by <i>AB</i> interaction			0,008 0,024 0,026	0,017 0,020 0,023	0,018 0,019 0,021	–	–

1,56%.

Установлена закономерность повышения урожайности сои при посеве лаповым сошником после чистого пара на 0,59 т/га, после пшеницы – на 0,51, после сои – на 0,21 т/га. Благодаря скашиванию растительности между полосами сои отросшие сорняки не успевают обсемениться, существенно снижается общая засоренность поля и повышается урожайность сои. При полосных посевах лаповым сошником можно отказаться от дорогостоящих гербицидов и обеспечить получение экологически безопасной продукции сои.

Выводы. В почве канала на глубине 0,05 м лаповый сошник обеспечивает ширину полосы посева 0,18–0,20 м. Отклонение от равномерности распределения высевных семян по площади составило ±0,93–1,56%.

Полосный посев лаповым сошником и дальнейшее скашивание сорных растений между полосами значительно снижают засоренность посевов сои: после пара на 67,7%, после пшеницы на 66,5, после сои на 65,4% в сравнении с рядовым посевом дисковым сошником. Установлено повышение урожайности сои при посеве лаповым сошником после предшественников: чистого пара – на 0,59 т/га, пшеницы – на 0,51, сои – на 0,21 т/га. Благодаря скашиванию растительности между полосами отросшие сорняки не успевают обсемениться, существенно снижается общая засоренность поля и повышается урожайность сои. Полосные посева лаповым сошником позволяют отказаться от дорогостоящих гербицидов и обеспечивают получение экологически безопасной продукции сои.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фокина Е.М., Титов С.А., Разанцев Д.Р. Агроэкологическая оценка перспективных образцов сои // *Достижения науки и техники АПК*. 2019. Т. 33. №7. С. 21–23.
2. Коломийцев Ф.Б., Синеговская Л.Т., Сергеев В.К., Гайдученко А.Н. Сорная растительность Амурской области и меры борьбы с ней. Благовещенск: Приамурье. 2003. 168 с.
3. Epifantsev V.V., Panasyuk A.N., Osipov Ya.A., Vaitekhovich Yu.A. Efficiency of tank mixture of herbicides reducing weediness and increasing the productivity of soybean crops. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. Vol. 9. №1. 1451–1455.
4. Орехов Г.И., Цыбань А.А. Повышение эффективности возделывания сои за счет совершенствования способов и технических средств посева семян // *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016. №7-6. С. 1007–1010.
5. Несмиян А.Ю., Должиков В.В. Обзор культиваторов для сплошной обработки почвы и тенденции их производства // *Тракторы и сельхозмашины*. 2013. №4. С. 6–9.
6. Руденко Н.Е., Шматко Г.Г., Руденко В.Н., Ануприенко М.А. Инновационная дефлекторная почвообрабатывающая лапа // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. №5. С. 11–14.
7. Орехов Г.И., Цыбань А.А., Технологическая схема почвообрабатывающего орудия для заделки сидерата // *Дальневосточный аграрный вестник*. 2017. №3(43). С. 192–199.
8. Сюмак А.В., Русаков В.В., Цыбань А.А., Мунгалов В.А., Селин А.В. Обоснование повышения эффективности возделывания сои и зерновых культур в короткоротационных севооборотах в системе биологического земледелия // *Фундаментальные исследования*. 2013. №8-6. С. 1364–1367.
9. Васильев И.П., Туликов А.М., Баздырев Г.И., Захарченко А.В., Сафонов А.Ф. Земледелие: практикум. М.: ИНФРА-М. 2013. 424 с.
10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат. 1985. 352 с.
11. Алабушев В.А., Алабушев А.В., Алабушев В.В., Збраилов Ф.Ф., Зеленская Г.М., Сорокин Б.Н., Удалов А.В., Сорокина И.Ю. Растениеводство. Ростов н/Д: МарТ. 2001. 384 с.
12. Асеева Т.А., Киселев Е.П. Основы агрономии и технологии возделывания сельскохозяйственных культур на российском Дальнем Востоке. Хабаровск: ПРИАБ. 2011. 318 с.
13. Аксенов А.Г., Емельянов П.А., Сибирев А.В. Ориентированная посадка луковиц катушечно-вильчатый высажи-



вающим аппаратом // *Вестник Мордовского университета*. 2018. N1. С. 20-24.

14. Aksenov A.G., Izmaylov A.Yu., Dorokhov A.S., Sibirev A.V. Onion bulbs orientation during aligned planting of seed-onion using vibration-pneumatic planting device. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2018. N2(55). 63-70.

15. Jarudchai Y., Sonluck K., Jiraporn B. Design and development of a garlic planter in Thailand. Bachelor's thesis King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. Thailand. 2002.

Vol. 2, 1-10.

16. Nilesh N.J., Harshal R.A., Amol P.G. Design and Fabrication of Onion Seed Sowing Machine, *International Journal on Recent Technologies in Mechanical and Automobile Engineering*. Pahang: Malaysia. 2015. Iss. 2, 1-10.

17. Rohokale A.B., Shewale P.D., Pokharkar S.B., Sanap K.K. A review on multi-seed sowing machine. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*. Tamil Nadu: India. 2014. Vol. 5.180-186.

REFERENCES

1. Fokina E.M., Titov S.A., Razantsvey D.R. Agroekologicheskaya otsenka perspektivnykh obraztsov soi [Agroecological assessment of promising soybean samples]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2019. Vol. 33. N7. 21-23 (In Russian).

2. Kolomiytsev F.B., Sinegovskaya L.T., Sergeev V.K., Gayduchenko A.N. Sornaya rastitel'nost' Amurskoy oblasti i mery bor'by s ney [Weed vegetation of the Amur region and measures to combat it] Blagoveshchensk: Priamur'e. 2003. 168 (In Russian).

3. Epifantsev V.V., Panasyuk A.N., Osipov Ya.A., Vaitekhovich Yu.A. Efficiency of tank mixture of herbicides reducing weediness and increasing the productivity of soybean crops. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. Vol. 9. N1. 1451-1455 (In English).

4. Orekhov G.I., Tsyban' A.A. Povyshenie effektivnosti vozdevlyaniya soi za schet sovershenstvovaniya sposobov i tekhnicheskikh sredstv poseva semyan [Improving the efficiency of soybean cultivation by improving the methods and technical means of sowing seeds]. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2016. N7-6. 1007-1010 (In Russian).

5. Nesmiyan A.Yu., Dolzhikov V.V. Obzor kul'tivatorov dlya sploshnoy obrabotki pochvy i tendentsii ikh proizvodstva [A review of cultivators for continuous tillage and trends in their production]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2013. N4. 6-9 (In Russian).

6. Rudenko N.E., Shmatko G.G., Rudenko V.N., Anuprienko M.A. Innovatsionnaya deflektornaya pochvoobrabatyvayushchaya lapa [Innovative deflect tillage paw]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2019. Vol. 13. N5. 11-14 (In Russian).

7. Orekhov G. I., Tsyban' A.A., Tekhnologicheskaya skhema pochvoobrabatyvayushchego orudiya dlya zadelki siderata [Technological scheme of a tillage implement for embedding green manure]. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik*. 2017. N3(43). 192-199 (In Russian).

8. Syumak A.V., Rusakov V.V., Tsyban' A.A., Mungalov V.A., Selin A.V. Obosnovanie povysheniya effektivnosti vozdevlyaniya soi i zernovykh kul'tur v korotkorotatsionnykh sevooborotakh v sisteme biologicheskogo zemledeliya [The rationale for increasing the efficiency of cultivation of soy and grain crops in short-ro-

tation crop rotation in the system of biological farming]. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2013. N8-6. 1364-1367 (In Russian).

9. Vasil'ev I.P., Tulikov A.M., Bazdyrev G.I., Zakharchenko A.V., Safonov A.F. Zemledelie: praktikum [Agriculture: workshop]. Moscow: INFRA-M. 2013. 424 (In Russian).

10. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta [Methodology of field experience]. Mjscow: Agropromizdat. 1985. 352 (In Russian).

11. Alabushev V.A., Alabushev A.V., Alabushev V.V., Zbrailov F.F., Zelenskaya G.M., Sorokin B.N., Udalov A.V., Sorokina I.Yu. Rastenievodstvo [Plant growing]. Rostov n/D: MarT. 2001. 384 (In Russian).

12. Aseeva T.A., Kiselev E.P. Osnovy agronomii i tekhnologii vozdevlyaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur na rossiyskom Dal'nem Vostoke [Fundamentals of agronomy and crop cultivation technology in the Russian Far East]. Khabarovsk: PRIAB. 2011. 318 (In Russian).

13. Aksenov A.G., Emel'yanov P.A., Sibirev A.V. Orientirovannaya posadka lukovits katushechno-vil'chatym vyszhivayushchim apparatom [Oriented planting of bulbs with a coil-fork planting device]. *Vestnik Mordovskogo universiteta*. 2018. N1. 20-24 (In Russian).

14. Aksenov A.G., Izmaylov A.Yu., Dorokhov A.S., Sibirev A.V. Onion bulbs orientation during aligned planting of seed-onion using vibration-pneumatic planting device. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2018. N2(55). 63-70.

15. Jarudchai Y., Sonluck K., Jiraporn B. Design and development of a garlic planter in Thailand. Bachelor's thesis King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. Thailand. 2002. Vol. 2, 1-10.

16. Nilesh N.J., Harshal R.A., Amol P.G. Design and Fabrication of Onion Seed Sowing Machine, *International Journal on Recent Technologies in Mechanical and Automobile Engineering*. Pahang: Malaysia. 2015. Iss. 2, 1-10.

17. Rohokale A.B., Shewale P.D., Pokharkar S.B., Sanap K.K. A review on multi-seed sowing machine. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*. Tamil Nadu: India. 2014. Vol. 5.180-186.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

**Статья поступила в редакцию 14.08.2020
The paper was submitted
to the Editorial Office on 14.08.2020**

**Статья принята к публикации 03.09.2020
The paper was accepted
for publication on 03.09.2020**

Техническая оснащённость селекции и семеноводства кукурузы

Светлана Александровна Давыдова,
кандидат технических наук, ведущий научный
сотрудник, e-mail: davidova-sa@mail.ru;

Михаил Евгеньевич Чаплыгин,
кандидат технических наук, старший научный
сотрудник, e-mail: misha2728@yandex.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Разработка подпрограммы «Развитие селекции и семеноводства кукурузы» в рамках Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы предопределяет необходимость интенсивного технического оснащения отрасли специализированной отечественной селекционной техникой. (*Цель исследования*) Проанализировать технический уровень устройств для механизации работ в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве кукурузы, выявить основные направления развития сельскохозяйственной техники. (*Материалы и методы*) Исследовали материалы, опубликованные в периодической печати, статистические данные Минсельхоза России и Росстата, информационные материалы российских и зарубежных компаний, нормативно-правовую базу. Использовали методы комплексного структурно-динамического анализа и экспертно-аналитический способ обработки информации. (*Результаты и обсуждение*) Установили наличие импортозависимости отечественной селекции и семеноводства от поставок зарубежной техники: при оснащённости селекционных учреждений средствами механизации около 50 процентов доля иностранных машин и оборудования достигает 70 процентов. Выявили основные проблемы в механизации селекции и семеноводства кукурузы. Первая – отсутствие производства отечественных сеялок для посева на первом этапе селекции, имеющих параметры: тяговый класс – 0,2; ширина междурядья – до 0,7 метра, число высевающих секций – 1 и 2; расстояние между сошниками – 0,7 метра. Вторая – дефицит отечественных сеялок для посева на втором этапе селекции с требуемыми параметрами: тяговый класс – 0,6; 1,4; 2,0; ширина междурядья – 0,7 метра; число высевающих секций – 4 и 6; расстояние между крайними сошниками – 2,1; 3,5 м. Третья проблема – недостаток отечественной техники для уборки урожая, соответствующей требованиям: ширина междурядья – 0,7 метра; ширина захвата – 1,4 и 2,8 метра; ширина – 1,8 или 3,2 метра; радиус поворота – 7,5 метра. (*Выводы*) Выявили, что технический уровень устройств для механизации работ в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве кукурузы не отвечает параметрам комплексного подхода при обосновании и разработке специализированной техники. Отметили необходимость разработки следующих отечественных технических средств: посевных машины для посева питомников первого этапа; маркеров; малогабаритных опрыскивателей; двухрядного прокосчика-измельчителя отцовских форм кукурузы.

Ключевые слова: кукуруза, селекция кукурузы, сортоиспытание, семеноводство, техническое оснащение селекции и семеноводства.

■ **Для цитирования:** Давыдова С.А., Чаплыгин М.Е. Техническая оснащённость селекции и семеноводстве кукурузы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №3. С. 66-74. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-3-66-74.

Technical Equipment of Corn Breeding and Seed Production

Svetlana A. Davydova,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: davidova-sa@mail.ru;

Mikhail E. Chaplygin,
Ph.D.(Eng.), senior researcher,
e-mail: misha2728@yandex.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The development of the subprogram “Maize Breeding and Seed Production Development” within the framework of the Federal Scientific and Technical Program for the Development of Agriculture for 2017–2025 determines the necessity for intensive technical equipping of the industry with specialized domestic breeding equipment. (*Research purpose*) To analyze the technical level of devices for the work mechanization in maize selection, variety testing and primary seed production, to identify the main directions of agricultural machinery development. (*Materials and methods*) The authors studied materials published in periodicals, statistics of the Ministry of Agriculture of Russia and the Federal State Statistics Service, information materials of



Russian and foreign companies, the regulatory framework. They used methods of complex structural-dynamic analysis and an expert-analytical method of processing information. (*Results and discussion*) The authors established the presence of domestic selection and seed production import dependence on foreign equipment supplies: with equipping of breeding institutions with mechanization facilities about 50 percent the foreign machinery and equipment share reached 70 percent. They identified the main problems in the corn selection and seed production mechanization. The first problem was the lack of domestic seeders for sowing at the first stage of selection, having the following parameters: traction class – 0.2; row spacing – up to 0.7 meters, the sowing sections number – 1 and 2; the distance between the coulters is 0.7 meters. The second problem was the domestic seeders for sowing shortage at the second stage of selection with the required parameters: traction class – 0.6; 1.4; 2.0; row spacing – 0.7 meters; the sowing sections number – 4 and 6; distance between extreme openers – 2.1; 3.5 meters. The third problem was the lack of domestic harvesting equipment that met the requirements: row spacing – 0.7 meters; working width – 1.4 and 2.8 meters; width – 1.8 or 3.2 meters; turning radius – 7.5 meters. (*Conclusions*) The technical level of devices for the work mechanization in selection, variety testing and maize primary seed production didn't meet the parameters of an integrated approach in the justification and specialized equipment development. The authors noted the necessity to develop the following domestic technical means: sowing machines for sowing nurseries of the first stage; markers; small-sized sprayers; two-row mover-shredder of corn male parent plants.

Keywords: corn, corn breeding, variety testing, seed production, selection and seed production technical equipment.

For citation: Davydova S.A., Chaplygin M.E. Tekhnicheskaya osnashchennost' seleksii i semenovodstve kukuruzy [Technical equipment of corn breeding and seed production]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N3. 66-74 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-3-66-74.

Кукуруза – одна из основных сельскохозяйственных культур разностороннего использования и высокой урожайности. Потребление ее семян в нашей стране не превышает 2% от общемирового объема. На российском рынке доля культуры в денежном выражении составляет 22%. Ежегодно в нашей стране высевают около 48% семян кукурузы иностранной селекции (40% завозят из-за рубежа, а 8% производят на территории РФ). При этом в России во всех видах хозяйств отмечен недостаток кукурузного зерна, поскольку объемы его производства в 2-3 раза меньше минимальной потребности. В 2018 г. обеспеченность сельскохозяйственных предприятий семенами кукурузы к весеннему севу составила 37,1 тыс. т (~43%). Однако увеличение площадей, засеваемых дорогостоящими импортными семенами, не приводит к росту средней урожайности кукурузы на зерно (рис. 1) [1].

В соответствии с Федеральной научно-технической программой развития сельского хозяйства на 2017-2025 годы планируется разработка подпрограммы «Развитие селекции и семеноводства кукурузы», цель которой – создание новых отечественных конкурентоспособных сортов и гибридов кукурузы. В документе предусмотрено доведение ежегодного производства семян отечественных гибридов кукурузы до 60%. Одним из основных сдерживающих факторов в развитии селекции и семеноводства остается низкое техническое оснащение отрасли. Необходимо уделять внимание не только производству семян кукурузы, повышению их качества, но и преодолению технологической зависимости отечественного сельскохозяйственного производства от импорта, механизации процессов селекции, сортоиспытания и первичного семеноводства [1-8].

По мнению ученых ВНИИ кукурузы, Кубанского ГАУ и НЦЗ им. П.П. Лукьяненко, характеристики технических средств должны соответствовать параметрам обрабатываемых участков, которые различаются в зависимости от условных этапов селекционного процесса), необходимо разработать требования к типуажу посевных и уборочных машин для селекции, сортоиспытания и первичного семеноводства кукурузы.

Цель исследования – проанализировать технический уровень устройств для механизации работ в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве кукурузы, выявить основные направления развития сельскохозяйственной техники.

Материалы и методы. Исследовали материалы, опубликованные в периодической печати, статистические данные Минсельхоза России и Росстата, информационные материалы российских и зарубежных

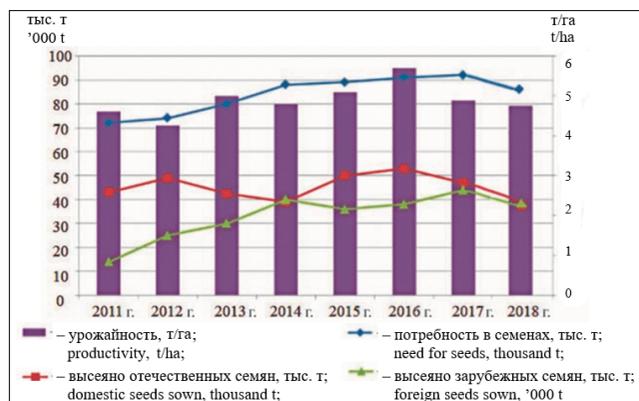


Рис. Динамика использования семян зарубежной селекции и урожайности кукурузы в Российской Федерации
Fig. The dynamics of the seeds use of foreign selection and corn yields in the Russian Federation

компаний, нормативно-правовую базу. Использовали методы комплексного структурно-динамического анализа и экспертно-аналитический способ обработки информации.

Результаты и обсуждение. Недофинансирование всех звеньев в системе госсортоиспытания на протяжении последних 25-30 лет привело к дефициту специализированной селекционной техники (сеялок, комбайнов и средств их транспортировки). Существует опыт организации работ, когда на сортоучастках используют технику зарубежных компаний исходя из условий конкретного региона в радиусе 150-500 км. Например, ООО «Маисадур Семанс Кубань» одним селекционным комбайном убирает участки с опытными делянками, расположенные на расстоянии 300-500 км, а филиал ФГБУ «Госсортокомиссия» по Краснодарскому краю успешно применяет подобный метод в сотрудничестве с базовым крестьянским (фермерским) хозяйством. Такая организация работ позволяет в 5 раз снизить потребность в средствах на переоснащение сортоиспытательных участков [1].

В целом оснащенность селекционных учреждений средствами механизации составляет примерно 50%. Поэтому все более актуальными становятся разработка структурно-функциональной модели единого производственного процесса и производство технических средств для создания новых сортов [8, 9]. Необходимо учитывать следующие отличия данной техники от серийной для промышленного производства [3]:

- способность работать на небольших делянках;
- высокая точность уборки;
- снижение до минимума потерь семян при работе машин;
- обеспечение защиты от смешения семян с разных делянок (по окончании работы с каким-либо селекционным номером, гибридом или сортом как в рабочих органах, так и во всей машине не должно остаться ни одного семени, причем должен быть обеспечен достоверный контроль выполнения этого требования);
- особый кинематический режим работы машин с минимальным травмированием семян.

Технология выведения новых гибридов кукурузы включает в себя три взаимосвязанных технологических процесса селекции. На первом этапе проводят посев без повторений потомства отдельных растений, уборку и послеуборочную обработку урожая. На втором этапе осуществляют посев с повторениями для сравнительного испытания (оценки) перспективных селекционных номеров, новых гибридов, а также уборку и послеуборочную обработку. Третий этап представлен первичным семеноводством со следующими мобильными полевыми операциями:

- подготовка опытного поля: основная обработка почвы; внесение минеральных и органических удобрений; поверхностная обработка почвы (машинами общепроизводственного назначения);

- разбивка опытных делянок селекционным маркером;

- посев опытных делянок вручную, селекционными или селекционно-семеноводческими сеялками;

- уход за посевами культиваторами типа КРН или вручную;

- уборка урожая с опытных делянок вручную, селекционными комбайнами с обмолотом початков или семеноводческими комбайнами без обмолота початков [3].

К посевным машинам первого этапа предъявляются следующие требования: глубина заделки семян должна регулироваться в интервале от 0,04 до 0,12 м; высевание в одно гнездо – 3-4 семени; машина должна быть однорядной и самоходной. Из-за отсутствия посевных машин отечественного производства посев питомников первого этапа осуществляется ручными сеялками типа ССГ-1. Например, сеялка ручная «Клен-Р» предназначена для рядового высева семян зерновых, зернобобовых и крупяных культур, а также семян трав на делянках длиной от 1 до 12 м. Сеялка оснащена порционной высевальной системой с коническим высевальным аппаратом с плавной регулировкой длины высеваемого ряда.

Поле, подготовленное для закладки питомников первого этапа, необходимо разметить маркером в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Маркеры агрегируются с трактором тягового класса не более 0,2. В результате этой операции поле получается разделенным бороздками на квадраты 0,7×0,7 м, по углам которых высевают семена.

В настоящее время отечественных разработок маркеров нет, однако существуют макетные образцы, к которым предъявляются следующие требования:

- маркер должен оставлять на поле видимый след;
- минимальное перемешивание почвы при нанесении бороздок;

- расстояние между соседними метчиками – 0,7 м;
- число метчиков – 6 или 8;

- расстояние между крайними метчиками – 3,5 или 4,9 м;

- глубина рыхления – 0,05-0,10 м [3].

На базе машиностроительного завода опытных конструкций ВИМ разработан маркер для разметки рядов и рядков МС-3-5 шириной захвата до 5 м. В его конструкции предусмотрены: основной брус (квадратная труба); дополнительные бруссы (на концах имеются кронштейны для установки следообразователей); шарнирные секции с установленными на них маркирующими лапами килевидного типа; опорные пневматические колеса; следообразователи, состоящие из телескопических труб и дисковых ножей, предназначенные для образования следа, по которому ведет трактор при последующем проходе (следообразователи из рабочего положения в транспортное и наоборот переводят с помощью гидросистемы трактора). Глубину борозд, образуемых маркирующими лапами, ре-



гулируют усилием имеющихся на брус пружин [1].

В селекционных учреждениях как правило используют маркеры собственных конструкций, так как отечественная промышленность селекционных маркеров для пропашных культур не выпускает. В качестве рабочих органов (метчиков) чаще всего используют долотообразные рыхлительные лапы. Но при сухой ветреной погоде след от таких метчиков через 3-4 ч плохо виден, что затрудняет посев делянок.

Таким образом, необходима разработка селекционных маркеров под заводскую технологию изготовления, снабженных метчиками в виде дисков, предназначенных для товарных посевов пропашных культур.

Для посева участков на этапе первичного семеноводства и участков гибридизации в селекционных учреждениях также необходима разработка отечественного варианта семеноводческой сеялки, при этом посевные машины должны соответствовать установленным требованиям (табл. 1) [1, 3].

Анализ отечественных и зарубежных сеялок показал, что лишь небольшая их часть отвечает заданным параметрам. Например, селекционные сеялки МСНПП «Клен» (Россия) и фирмы Wintersteiger (Австрия) соответствуют основным требованиям к типу посевных машин по следующим показателям:

- тип высевающего аппарата: пневматический («Клен-2,8») или порционный (Monoseed DT, Dynamic Disc Plus 870);
- настройка аппаратов на норму высева: индивидуальная;
- загрузка высевающих аппаратов: кассетная;
- контроль за работой высевающих аппаратов: приборы контроля (электронная система «Клен», световая и звуковая сигнализация неисправности на пуль-



Рис. 2. Сеялка «Клен-2,8»
Fig. 2. Row seeder «Klen-2.8»

те управления у сеялки «Клен-2,8» (рис. 2); система контроля, звуковой сигнал, отображение фактических функций и неполадок во время движения на дисплее, сохранения данных с делянки, запись всех данных на карту памяти у сеялок Monoseed DT и Dynamic Disc Plus 870). Кроме того, сеялки Monoseed DT и Dynamic Disc Plus 870 имеют возможность плавной регулировки ширины междурядья.

На базе ФНАЦ ВИМ выпущены опытные образцы конструкции селекционной кассетной сеялки: Wintersteiger – ВИМ (Rowseed). Навесная сеялка (рис. 3) агрегируется с трактором кл. 0,6 и оснащена головкой с обводной лентой, что позволяет осуществлять посев семян почти всех сортов. Для каждого посевного ряда предназначен маленький конус с обводной лентой, обеспечивающей равномерное распределение семян по каждому ряду. Регулировка подачи кассет автоматическая, смена кассет возможна без останова машины, ширина междурядья – от 0,12 м, число высевающих секций – 4-6.

Требования		ТРЕБОВАНИЯ К СЕЛЕКЦИОННЫМ СЕЯЛКАМ И ИХ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ				
Requirements		REQUIREMENTS FOR SELECTION SEEDERS AND THEIR TECHNICAL CHARACTERISTICS				
Показатели Indicators	Требования		Клен-2,8 Klen-2.8	Monoseed DT	Dynamic Disc Plus 870	Winter- steiger – ВИМ (Rowseed)
	первый этап селек- ции first stage of selection	второй этап селекции second stage of selection				
Тип машины Machine type	самоходная self-propelled	самоходная или навесная self-propelled or mounted	навесная mounted			
Тяговый класс энергетического средства, тс The traction grade power tools, tf	0,2	0,6; 1,4; 2,0	0,9-1,4	1,4-2,0	1,4-2,0	0,6
Ширина междурядья, м, Row spacing, m	0,7	0,7	0,45; 0,7	от 0,4	0,2-0,75	от 0,12
Число высевающих секций, шт. Number of seeding sections, pcs	1; 2	4; 6	4 (3, 6)	2-4	2-8	4-6
Расстояние между крайними сошниками, м Spacing between opener system for seed placement, m	0,7	2,1; 3,5	2,8 (2,1; 4,2)	плавно регулируется infinitely adjustable		



Рис. 3. Селекционная касетная сеялка Wintersteiger – ВИМ (Rowseed)

Fig. 3. Selection of cluster sowing machine Wintersteiger – VIM (Rowseed)

Процесс посева семян на втором этапе полностью механизирован. Но необходима разработка сеялки отечественного производства приемлемой стоимости, поскольку цена импортных превышает 1,3 млн руб., что создает проблему для большинства селекционных учреждений Российской Федерации из-за отсутствия необходимых денежных средств [3, 5].

Технологические операции ухода за посевами на опытных делянках и товарных посевах семенной кукурузы идентичны: культивация междурядий, окучивание, подкормка и опрыскивание растений (защита от вредителей и болезней). Для их выполнения используют машины общепроизводственного назначения: культиваторы-растениепитатели типа КРН, подкормщики-опрыскиватели типа ПОМ-630 или их аналоги. Посев по схемам 4:2 и 2:1 обеспечивает наилучшее опыление материнских форм растений, но нет машин для их реализации. Поэтому участки гибридизации в селекционных учреждениях засевают по схеме 4:2. Между участками гибридизации располагаются защитные экраны из высокорослых растений. Как правило, для этой цели используют подсолнечник. Ширина защитных экранов чаще всего принимается равной 8,4 или 11,2 м, что соответствует двум проходам шестирядной или восьмирядной сеялки. Отсюда следует, что для обработки участков гибридизации требуется разработать отечественные малогабаритные опрыскиватели шириной захвата 4,2 м [3].

При создании инбредных линий необходимо исключить попадание пыльцы с других растений на женские соцветия и удалить метелки у мужских соцветий. В США и странах Европы семеноводство основано на механической кастрации – обрыве метелок специальными машинами или вручную. В России используют цитоплазматическую мужскую стерильность (ЦМС) – биологический метод кастрации растений, без обрыва метелок на материнских растениях. Специалисты считают, что механическая кастрация имеет преимущества: сокращение сроков выведения новых гибридов вследствие исключения процедуры закрепления (создания) ЦМС; выравнивание кукурузы по высоте стебля, размерам початков, ме-

сту их прикрепления к стеблю. На участках гибридизации применяют в основном схему посева 4:2. Следовательно, обрывщик метелок должен быть выполнен в четырехрядном варианте. После окончания процесса опыления отцовскую форму растений желательно удалить. Эта операция исключает возможность попадания семян отцовской формы в гибридные семена и одновременно упрощает процесс уборки. Отцовские растения предпочтительно выкашивать с измельчением и использовать на корм крупному рогатому скоту. Отсюда следует, что в состав комплекса технических средств должен быть включен и двухрядный прокосчик-измельчитель отцовских форм кукурузы. Поэтому необходима разработка его отечественного аналога [1, 3].

Наблюдение за посевами включает в себя проведение следующих операций: визуальный контроль за развитием растений; измерение растений на разных этапах вегетации (контроль динамики развития, морфологическая оценка и др.); анализ полученных результатов. Эти процедуры не подлежат механизации.

На всех этапах работ урожай с каждой делянки убирают отдельно. На первом этапе работ – вручную. На втором этапе, по мнению специалистов, уборка урожая должна заключаться в обрыве початков с обмолотом зерна и сбором последнего в мешкотару или бункер, взвешивании и определении влажности. Есть несколько комбайнов, примерно отвечающих этим требованиям (табл. 2) [1, 3, 10-15].

Применяемые на уборке селекционных делянок комбайны имеют различающиеся по конструкции и назначению средства для отбора проб. Из представленных комбайнов только Wintersteiger Quantum оборудован системой отбора проб, расположенной непосредственно в кабине. У комбайнов Wintersteiger Classic и SR2010 забор проб осуществляется с левой стороны комбайна на оборудованной специально для этих целей площадке. У Nova 340 – со стороны площадки входа.

Практически все комбайны имеют систему электронного взвешивания зерна, кроме Nova 340, который по своей конструкции является больше производственным, чем селекционным. Wintersteiger Classic и Quantum имеют систему Harvestmaster Classic GrainGage, Harvestmaster H2 Classic и систему регистрации и передачи данных, а комбайн SR2010 – систему Coleman.

По показателям «минимальный внешний зазор от конуса крайнего делителя до ближайшего крайнего рядка соседней делянки, 0,15 м» и «максимальная масса урожая с делянки (зерно), 15 кг» все комбайны удовлетворяют предъявляемым требованиям. По показателю «число одновременно убираемых рядков» только комбайн Nova 340 (рис. 4) убирает наибольшее количество рядков одновременно – 4, у остальных этот показатель равен 2.

Для уборки делянок селекционных, контрольных

Таблица 2		Table 2			
ТРЕБОВАНИЯ К КОМБАЙНАМ ДЛЯ УБОРКИ КУКУРУЗЫ НА СЕЛЕКЦИОННЫХ УЧАСТКАХ И ИХ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ					
REQUIREMENTS FOR HARVESTING CORN COMBINES AT BREEDING SITES AND THEIR TECHNICAL CHARACTERISTICS					
Показатели Indicators	Требования Requirements	Nova 340	SR2010	Wintersteiger Quantum	Wintersteiger Classic
Тип комбайна Harvester type	самоходный / фронтальный / ручьевого self-propelled / frontal / row	самоходный self-propelled			
Мощность двигателя, кВт (л.с) Engine power, kW (h.p)	–	132 (180)	60 (82)	55 (75)	38 (52)
Ширина междурядья, м Row spacing, m	0,7	0,7	0,7	0,6 (0,7)	0,6 (0,75)
Ширина захвата, м Width, m	1,4; 2,8	2,8	1,4	1,4	1,4
Габариты, мм: Dimensions, mm: длина (с жаткой) length (cutting table) ширина width высота height	– 1800 или 3200 –	8060 2985 3960	(6400) 2500 3300	5700 1500-2250 2975	5150 1835 2350
Радиус поворота, м Turning radius, m	7,5	7,5	3,5	3,5	3,5

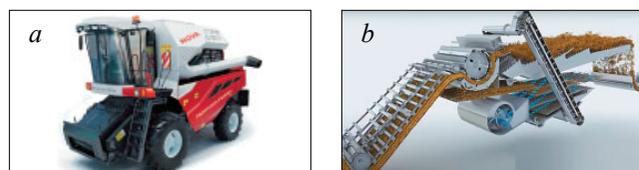


Рис. 4. Комбайн Nova 340 (a) и технологическая схема молотильно-сепарирующего устройства (b)
Fig. 4. Harvester Nova 340 (a) and technological scheme of threshing separation device (b)

питомников, питомников предварительного сортоиспытания и испытаний потомств второго года (третий этап селекционных работ) предназначен малогабаритный селекционный комбайн Wintersteiger – ВИМ (Classic) (рис. 5). По своим техническим характеристикам он отвечает основным предъявляемым требованиям: мощность двигателя – 30 кВт (52 л.с), ширина междурядий – 0,6 (0,75) м; ширина захвата жатки – 1,25-1,5 м (регулируемая); габаритные размеры (длина×ширина×высота) – 5150×1835×2260 мм; радиус поворота – 3,5 м.

Послеуборочную обработку початков проводят на первом этапе селекции и при первичном семеноводстве кукурузы. Она включает в себя следующие операции: очистка от оберточных листьев; выбраковка початков, их сушка и обмолот; очистка, сортировка и хранение семян.

Основным технологическим процессом послеуборочной обработки кукурузы является обмолот початков, поскольку при этом зерно получает наибольшее количество травм (уровень травмирования зерна может достигать 90-95 %, что существенно снижает по-



Рис. 5. Малогабаритный селекционный комбайн «Classic» Wintersteiger – ВИМ
Fig. 5. Small-sized selection harvester «Classic» Wintersteiger – ВИМ

севные и урожайные качества семян кукурузы) [3]. Но на разных стадиях селекционного процесса требования к качественным показателям процесса обмола початков различаются достаточно существенно. На этапе сортоиспытания (второй этап селекции) проводится только оценка урожайности новых гибридов кукурузы, она может выполняться по следующим трем основным вариантам, предложенными в работе Курасова В.С. и соавторов [3]:

1. Обрыв початков без очистки и со сбором их в мешкотару; очистка початков на стационарном початкоочистителе; обмолот початков на стационарной или передвижной молотилке; взвешивание и определение влажности зерна. Полевая машина – комбайн пиккер (собиратель початков).

2. Обрыв початков с очисткой их от оберток и сбором в мешкотару; обмолот початков на стационарной или передвижной молотилке; взвешивание и опреде-

ление влажности зерна. Полевая машина – комбайн пиккер-хескер (собиратель-очиститель початков).

3. Обрыв початков с обмолотом зерна и сбором последнего в мешкотару или бункер; взвешивание и определение влажности зерна.

При этом вымолоченное зерно взвешивается, определяется его влажность и чистота, урожай пересчитывается на 14%-ю влажность и 100%-ю чистоту зерна по выражению:

$$G_{3,ст} = [G_3(100 - W_3)(100 - C_3)] / (100 - W_{3,ст}) 100,$$

где G_3 – урожай без поправки на влажность, т/га; W_3 – влажность убранных зерна, %; C_3 – чистота зерна, %; $W_{3,ст}$ – стандартная (14%) влажность, %.

Разработаны агротехнические требования на приспособление к селекционно-семеноводческому комбайну для уборки кукурузы с обмолотом початков [3]: чистота зерна – не менее 95%; недомолот зерна – не более 2%; дробление зерна – не более 2,5% при влажности зерна 16-20%; 5,0% при влажности зерна 20-30%; при влажности зерна более 30% уровень дробления зерна не регламентируется. На втором этапе селекции уровень дробления зерна не имеет особого значения, главное, чтобы он был одинаков при уборке всех делянок, для получения сопоставимых результатов. К обмолоту початков на первом этапе селекции и этапе первичного семеноводства должны предъявляться те же требования, что и при обмолоте семенной кукурузы (дробление зерна не более 1,5%, микротравмы в области зародыша до 20%; недомолот зерна – не более 1,2%; не допускается сортосмешивание семян при переходе на обмолот другой партии початков) [3, 16-19].

В России на первом условном этапе селекции початки очищают от оберточных листьев вручную. Научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, ведущиеся в этой области отечественными исследователями, пока не привели к разработке машин, способных обрабатывать партии объемом от одного до нескольких сотен початков. Исключение составляет первичное семеноводство, но только в тех случаях, когда объем производства семян достигает нескольких сотен килограммов. При таких объемах партий уже можно использовать стационарные початкоочистители типа ОП-15, предназначенные для товарного семеноводства [3]. Очищители початков, перерабатывающие многотонные потоки материала, в отличие от молотильно-сепарирующих аппаратов зерноуборочных комбайнов, не могут быть переоборудованы для партий в сотни килограммов. Поэтому техническое обеспечение в последнем случае разрабатывают и комплектуют индивидуально [20]. Из зарубежной техники для этой операции возможно использование початкоочистителя *Tonga* (фирма *Bourgoin*, Франция) или *Zhengzhou Shuli Machine* (Китай).

На базе ВИМ разработали ряд ящичных и платформенных сушилок, отвечающих требованиям се-

лекционного процесса, а также ряд конструкций обмолачивающих устройств, которые соответствуют агротехническим требованиям к обмолоту початков. Выпускаются опытные образцы сушилки лотковой селекционной СЛ-0,3×2 (рис. 6), предназначенной для сушки образцов семян, получаемых с контрольных питомников, делянок предварительного размножения, а также других более мелких делянок. Производительность СЛ-0,3×2 составляет 0,5 т/ч.

На втором условном этапе селекции внедрена ком-



Рис. 6. Сушилка лотковая селекционная СЛ-0,3×2

Fig. 6. Tray breeding dryer SL-0,3x2

байновая технология уборки кукурузы с обмолотом початков, а послеуборочная обработка урожая не требуется, поскольку убранный урожай после определения урожайности используется на фуражные цели [3].

На этапе первичного семеноводства выбор технических средств для послеуборочной обработки кукурузы зависит от объема партии. Если объем составляет сотни килограммов, то возможно использование машин для товарного семеноводства. Несколько десятков килограммов обрабатывают теми же техническими средствами, что и на первом этапе селекции [3].

Выводы. Выявили дефицит современной отечественной специализированной техники для селекции, сортоиспытания и первичного семеноводства кукурузы, соответствующей требуемым параметрам комплексного подхода:

- для сеялок: тяговый класс – 0,2 т (первый этап селекции), 0,6; 1,4; 2,0 (второй этап селекции); ширина междурядья – 0,7 м; число высевальных секций – 1 и 2 (первый этап селекции), 4 и 6 (второй этап селекции); расстояние между крайними сошниками – 0,7 (первый этап селекции), 2,1 и 3,5 (второй этап селекции);

- для уборочной техники: ширина междурядья – 0,7 м; ширина захвата – 1,4 и 2,8 м; габаритный размер (ширина) – 1800 или 3200 мм; радиус поворота – 7,5 м.

Определили, что среди отечественных разработок технических средств для селекции, сортоиспытания и первичного семеноводства кукурузы, предъявляемым требованиям соответствуют:

- селекционные сеялки: для первого этапа селекции – разработки отсутствуют; для второго этапа селекции – возможно использование «Клен-2,8» (тяговый класс – 1,4; ширина междурядья – 0,7 м; число



высевающих секций – 4 и 6; расстояние между крайними сошниками – 2,1) и *Wintersteiger* – ВИМ (*Rowseed*) (тяговый класс – 0,6; ширина междурядья – от 0,12 м; число высевающих секций – 4-6; расстояние между крайними сошниками регулируется);

- комбайны для уборки кукурузы на селекционных участках: *Nova 340* (ширина междурядья – 0,7 м; ширина захвата – 2,8 м; ширина – 2985 мм; радиус поворота – 7,5 м). Его конструкция больше соответствует производственному назначению, чем селекционному.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Давыдова С.А., Вахания В.И., Курасов В.С. Анализ состояния и перспективные направления развития селекции и семеноводства кукурузы: научный аналитический обзор. М.: Росинформагротех. 2019. 92 с.
2. Голикова С.А. Состояние и тенденции развития селекции и семеноводства сельскохозяйственных культур в Российской Федерации // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2018. N2(57). С. 208-216.
3. Курасов В.С., Куцеев В.В., Самурганов Е.Е. Механизация работ в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве кукурузы: монография. Краснодар: КубГАУ. 2013. 151 с.
4. Sidorenko S., Trubilin E., Kolesnikova E., Hasegawa H. Current situation, issues and trends of mechanization for grain harvesting in the Russian Federation. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2017. Vol. 48. N2. 31-35.
5. Воротников И.Л., Муравьева М.В., Петров К.А. Информационное обеспечение управления процессами регулирования зависимости сельского хозяйства России от импорта семян и семенного материала // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2019. Т. 12. N4 (63). С. 228-234.
6. Панарина В.И., Мельник А.Ф., Полухин А.А. Перспективные направления развития семеноводства в России как фактор обеспечения продовольственной безопасности // *Вестник аграрной науки*. 2017. N6(69). С. 45-53.
7. Маслов Г.Г., Ринас Н.А., Юдина Е.М., Малашихин Н.В. Технологическое и техническое совершенствование процессов возделывания полевых культур // *International Transaction Journal of Engineering, Management and Applied Sciences and Technologies*. 2020. Т. 11. N8. С. 11A8G.
8. Харева А.Р., Гусева А.А. Экономические аспекты создания новых сортов кукурузы: зарубежный опыт // *Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве*. 2020. N2(59). С. 83-87.
9. Moskovsky M.N., Chumak I.V., Chaava M.M. Development of a structural-functional model of a single production process obtaining seed material in farms. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. Vol. 13. N6.
10. Сотченко В.С., Багринцева В.Н., Сотченко Е.Ф. и др. Пер-

Таким образом, технический уровень устройств для механизации работ в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве кукурузы не отвечает параметрам комплексного подхода при обосновании и разработке специализированной техники. Необходима разработка следующих отечественных технических средств: посевных машин для посева питомников первого этапа; маркеров; малогабаритных опрыскивателей; двухрядных прокосчиков-измельчителей отцовских форм кукурузы.

- спективная ресурсосберегающая технология производства кукурузы на зерно: метод. рек. М.: Росинформагротех. 2009. 72 с.
11. Hansen L., Baggett J., Rome K. The physiology of corn production. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 1997. Vol. 102. 158-162.
12. Чаплыгин М.Е. Уборка кукурузы на зерно различными жатками // *Сельский механизатор*. 2015. N12. С. 8-9.
13. Hansen A.C., Zhang Q., Wilcox T.A. Modeling and Analysis of Row Crop Harvesting Patterns by Combines. *Transaction of ASABE*. 2007. Vol. 50. N1. 5-11.
14. Trubilin E.I., Truflyak E.V., Sidorenko S.M. Multilevel Systematic Approach To Optimization of Corn Grain Harvesting, Transportation, Post-Harvesting Processing And Storage. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2016. N7(2). 1426-1437.
15. Лобачевский Я.П., Трубилин Е.И., Труфляк Е.В. Ресурсосберегающие машинные технологии и режимы работы кукурузоуборочных машин // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2016. Т. 10. N1. С. 11-16.
16. Петунина И.А., Короткин А.В., Курасов В.С., Плешаков В.Н. Расчет параметров установки для очистки початков семенной кукурузы // *Сельский механизатор*. 2018. N10. С. 10-11.
17. Курасов В.С., Погосян В.М., Плешаков В.Н., Самурганов Е.Е. Исследование движения кукурузного початка в вальцовой молотилке // *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2017. N69. С. 315-318.
18. Курасов В.С., Погосян В.М., Цыбулевский В.В. Параметры кукурузной селекционной вальцовой молотилки // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2018. N136. С. 1-14.
19. Бумбар И.В., Кувшинов А.А. К оценке обмолота початков кукурузы бильным барабаном зернового комбайна // *Дальневосточный аграрный вестник*. 2017. N3 (43). С. 183-191.
20. Петунина И.А., Котелевская Е.А. Аналитический обзор механизации разделения вороха початков // *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П.А. Костычева*. 2015. N4(28). С. 61-63.

REFERENCES

1. Davydova S.A., Vakhaniya V.I., Kurasov V.S. Analiz sostoyaniya i perspektivnye napravleniya razvitiya selektsii i semenovodstva kukuruzy: nauchnyy analiticheskiy obzor [The state

analysis and perspective directions of corn selection and seed production development: a scientific analytical review]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2019. 92 (In Russian).

2. Golikova S.A. Sostoyaniye i tendentsii razvitiya selektsii i semenovodstva sel'skokhozyaystvennykh kul'tur v Rossiyskoy Federatsii [The state and development trends of agricultural crops selection and seed production in the Russian Federation]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018. N2(57). 208-216 (In Russian).
3. Kurasov V.S., Kutseev V.V., Samurganov E.E. Mekhanizatsiya rabot v selektsii, sortoispytaniy i pervichnom semenovodstve kukuruzy: monografiya [The mechanization of work in corn selection, variety testing and primary seed production: monograph]. Krasnodar: KubGAU. 2013. 151 (In Russian).
4. Sidorenko S., Trubilin E., Kolesnikova E., Hasegawa H. Current situation, issues and trends of mechanization for grain harvesting in the Russian Federation. *AMA, Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2017. Vol. 48. N2. 31-35 (In English).
5. Vorotnikov I.L., Murav'eva M.V., Petrov K.A. Informatsionnoye obespecheniye upravleniya processami regulirovaniya zavisimosti sel'skogo khozyaystva Rossii ot importa semyan i semennogo materiala [Information support for managing the processes of regulating the dependence of Russian agriculture on imports of seeds and seed material]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019. Vol. 12. N4(63). 228-234 (In Russian).
6. Panarina V.I., Mel'nik A.F., Polukhin A.A. Perspektivnyye napravleniya razvitiya semenovodstva v Rossii, kak faktor obespecheniya prodovol'stvennoy bezopasnosti [Promising directions of seed production development in Russia as a factor of food security]. *Vestnik agrarnoy nauki*. 2017. N6(69). 45-53 (In Russian).
7. Maslov G.G., Rinas N.A., Yudina E.M., Malashikhin N.V. Tekhnologicheskoe i tekhnicheskoe sovershenstvovanie protsessov vozdel'yvaniya polevykh kul'tur [Technological and technical improvement of field crop cultivation processes]. *International Transaction Journal of Engineering, Management and Applied Sciences and Technologies*. 2020. Vol. 11. N8. 11A8G (In English).
8. Kharebava A.R., Guseva A.A. Ekonomicheskie aspekty sozdaniya novykh sortov kukuruzy: zarubezhnyy opyt [Economic aspects of creating new varieties of corn: foreign experience]. *Ekonomika, trud, upravlenie v sel'skom khozyaystve*. 2020. N2(59). 83-87 (In Russian).
9. Moskovsky M.N., Chumak I.V., Chaava M.M. Development of a structural-functional model of a single production process obtaining seed material in farms. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. Vol. 13. N6 (In English).
10. Sotchenko V.S., Bagrintseva V.N., Sotchenko E.F. et al. Perspektivnaya resursoberegayushchaya tekhnologiya proizvodstva kukuruzy na zerno: metod. rek. [Promising resource-saving technology for the corn production for grain: methodical recommendations]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2009. 72 (In Russian).
11. Hansen L., Baggett J., Rome K. The physiology of corn production. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 1997. Vol. 102. 158-162 (In English).
12. Chaplygin M.E. Uborka kukuruzy na zerno razlichnymi zhatkami [Corn harvesting for grain by various reapers]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2015. N12. 8-9 (In Russian).
13. Hansen A.C., Zhang Q., Wilcox T.A. Modeling and Analysis of Row Crop Harvesting Patterns by Combines. *Transaction of ASABE*. 2007. Vol. 50. N1. 5-11 (In English).
14. Trubilin E.I., Truflyak E.V., Sidorenko S.M. Multilevel Systematic Approach To Optimization of Corn Grain Harvesting, Transportation, Post-Harvesting Processing And Storage. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2016. N7 (2). 1426-1437 (In English).
15. Lobachevskiy Ya.P., Trubilin E.I., Truflyak E.V. Resursoberegayushhie mashinnye texnologii i rezhimy raboty kukuruzoborochnykh mashin. [Resource saving machine technologies and modes of operation of corn harvesting machines]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i texnologii*. 2016. N1. 11-16 (In Russian).
16. Petunina I.A., Korotkin A.V., Kurasov V.S., Pleshakov V.N. Raschet parametrov ustanovki dlya oчитki pochatkov semennoy kukuruzy [Calculation of parameters of the plant for cleaning corn cobs]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2018. N10. 10-11 (In Russian).
17. Kurasov V.S., Pogosyan V.M., Pleshakov V.N., Samurganov E.E. Issledovanie dvizheniya kukuruznogo pochatka v val'tsovoy molotilke [Study of corn cob movement in roller threshing machine]. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2017. N69. 315-318 (In Russian).
18. Kurasov V.S., Pogosyan V.M., Tsybulevskiy V.V. Parametry kukuruznoy selektsionnoy val'tsovoy molotilki [Parameters of the corn selection roller thresher]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018. N136. 1-14 (In Russian).
19. Bumbar I.V., Kuvshinov A.A. K oцenke obmolota pochatkov kukuruzy bil'nym barabanom zernovogo kombayna [To assess the threshing of corn cobs with a grain combine drum]. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik*. 2017. N3(43). 183-191 (In Russian).
20. Petunina I.A., Kotelevskaya E.A. Analiticheskiy obzor mekhanizatsii razdeleniya vorokha pochatkov [Analytical review of cobs heap separation mechanization]. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva*. 2015. N4(28). 61-63 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 14.04.2020
The paper was submitted
to the Editorial Office on 14.04.2020

Статья принята к публикации 07.09.2020
The paper was accepted
for publication on 07.09.2020