

ISSN 2073-7599 (print)

ISSN 2618-6748 (online)

Сельскохозяйственные машины и технологии

AGRICULTURAL MACHINERY AND TECHNOLOGIES

Том 15 N 2 2021

Vol. 15 N 2 2021

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

SCIENTIFIC-THEORETICAL JOURNAL



2 2021





Сельскохозяйственные МАШИНЫ И ТЕХНОЛОГИИ

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

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

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

Журнал включен
в Российский индекс
научного цитирования (РИНЦ)

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

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

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

Перевод – Светлана Сорокина

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 10.06.2021
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

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

Виктор Валентинович Альт

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

Христо Иванов Белоев

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

Михаил Никитичевич Ерохин

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

Юрий Анатольевич Иванов

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

Йошисукэ Кишида

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

Юрий Федорович Лачуга

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

Антонин Махалек

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

Тадеуш Павловски

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

Владимир Дмитриевич Попов

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

Жарылкасын Сарсембекович Садыков

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

Даврон Рустамович Норчаев

доктор технических наук, старший научный сотрудник, руководитель лаборатории «Механизации садовод-ства и овощеводства» Научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства Республи-ки Узбекистан, г. Карши, Кашкадарьинская область, Республика Узбекистан

Юлия Сергеевна Ценч

кандидат педагогических наук, доцент, заместитель директора по образовательной 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 –
Svetlana Sorokina

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 10.06.2021
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

Yakov P. Lobachevskiy (SCIENTIFIC 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

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

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

Davron R. Norchaev

Dr.Sc.(Eng.), Senior Researcher, Head of the «Mechanization of Horticulture and Vegetable Growing» Laboratory of the Scientific Research Institute of Agricultural Mechanization of the Republic of Uzbekistan, Karshi city, Kashkadarya region, Republic of Uzbekistan

Yulia S. Tsench

Ph.D.(Ed.), Associate Professor, Deputy Director for Educational, Editorial and Publishing Activities 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



ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

- Жураев Ф.У., Каримов Г.Х.**
Оборудование и технология для
внутрипочвенного орошения интенсивных
садов в Бухарской области Республики
Узбекистан 4
- Тошболтаев М.Т., Джиянов М.Р.**
Определение оптимального состава
машинно-тракторного парка для модельного
хлопково-текстильного кластера 9

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

- Черников В.Г., Ростовцев Р.А., Соловьев С.В.**
Исследования параметров и режимов работы
аппарата для очеса льна на корню 13
- Королева Е.Н., Новиков Э.В., Безбабченко А.В.**
Возможность получения длинного волокна
из тресты масличного льна на различном
технологическом оборудовании 19

ИННОВАЦИИ

- Гусаров В.А.**
Силовая установка для мобильного
транспортного средства класса 0,6-0,8 на базе
тракторного самоходного шасси Т-16 26
- Сидоров М.В., Лавров А.В., Воронин В.А.,
Сидорова А.В.**
Мощность двигателя трактора, оснащенного
технологическим модулем 33
- Семенюк В.С., Никитин Е.А.**
Разработка системы точечного внесения
средств химизации на основе модели
сверточной нейронной сети 41

ТЕХНИКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ

- Дерепаскин А.И., Куваев А.Н., Токарев И.В.**
Полевые исследования культиватора-
удобрителя с системой дифференцированного
внесения минеральных удобрений 46

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ САДОВОДСТВА

- Горобей В.П., Москалевич В.Ю., Годжаев З.А.**
Обоснование устройства генерации капель
искусственного дождя пневмогидравлическим
распылением жидкости 53
- Хорт Д.О., Кутырев А.И., Смирнов И.Г.,
Воронков И.В.**
Разработка системы автоматизированного
управления агротехнологиями
в садоводстве 61

ПРИБОРЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

- Гришин А.П., Гришин А.А., Семенова Н.А.**
Способ контроля продуктивности растения .. 69
- Воротникова О.С., Майстренко Н.А.,
Левшин А.Г.**
Унифицированная модель расчетов
производительности технических средств
при реализации транспортных
и транспортно-технологических операций ... 75

FOREIGN EXPERIENCE

- Zhuraev F.U., Karimov G.K.**
Equipment and technology for subsurface
irrigation of intensive gardens
in the Bukhara Region
of the Republic of Uzbekistan 4
- Toshboltaev M.T., Dzhianov M.R.**
Determination of the machine and tractor
fleet optimal composition for a model
cotton-textile cluster 9

NEW MACHINERY AND TECHNOLOGIES

- Chernikov V.G., Rostovtsev R.A., Solov'ev S.V.**
Study on parameters and operating modes
of the device for deseeding flax in the field. 13
- Koroleva E.N., Novikov E.V., Bezbabchenko A.V.**
Possibility of obtaining long fiber from oilseed
flax trusts using various technological
equipment 19

INNOVATION

- Gusarov V.A.**
Power plant for a 0.6-0.8 class mobile
vehicle based on the T-16 self-propelled
tractor chassis 26
- Sidorov M.V., Lavrov A.V., Voronin V.A.,
Sidorova A.V.**
Engine power of a tractor equipped
with a technology module 33
- Semenyuk V.S., Nikitin E.A.**
System development for liquid chemicals
point injection based on convolutional neural
network models 41

SOIL TILLAGE EQUIPMENT

- Derepaskin A.I., Kuvaev A.N., Tokarev I.V.**
Cultivator-fertilizer field tests using
a differential fertilization
system 46

GARDENING VEHICLES AND TECHNOLOGIES

- Gorobey V.P., Moskaevich V.Yu., Godzhaev Z.A.**
Device substantiation for generating
artificial rain drops by pneumohydraulic
liquid spraying 53
- Khorth D.O., Kutyrev A.I., Smirnov I.G.,
Voronkov I.V.**
Development of an automated management
system for agricultural technologies
in horticulture 61

INSTRUMENTS AND EQUIPMENT

- Grishin A.P., Grishin A.A., Semenova N.A.**
Method for controlling plant productivity. 69
- Vorotnikova O.S., Maystrenko N.A.,
Levshin A.G.**
Unified model for calculating technical
facilities productivity for transportation
and transportation-technological
operations 75

Equipment and Technology for Subsurface Irrigation of Intensive Gardens in the Bukhara Region of the Republic of Uzbekistan

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

Galib Kh. Karimov,
doctoral student, e-mail: karimov.golib1988@mail.ru

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

Abstract. Experience shows that for the irrigation of intensive gardens, various types of equipment and technologies are used, such as continuous irrigation (invasive), drip irrigation, subsurface irrigation and other methods. All irrigation options have some shortcomings, such as water evaporation, high water consumption, high consumption of mineral fertilizers and energy. (*Research purpose*) To develop an automated system for subsurface irrigation of intensive gardens with groundwater using electric pumps and solar panels, and to create a mathematical model of soil moisture distribution. (*Materials and methods*) Special devices shaped as pegs were designed to supply water with dissolved mineral fertilizers directly into the root system of intensive gardens. The authors investigated the pegs' geometric parameters and the criteria for their placement in the soil, taking into account the consumption of water and nutrients. The authors examined soil mechanical composition and salinity as well as its physical and mechanical, technological properties. (*Results and discussion*) It was found out that the installation of the peg facilitates soil moisturizing through the central pipeline within the radius of 1.55-1.75 meters at the depth of 0.7-0.9 meters. Three-four pegs, being equidistant from each other and inclined in relation to the vertical axis by 20-30 degrees, were placed around a tree. Water consumption was determined for various irrigation methods: for furrow irrigation (control) – 1125.7 cubic meters per hectare, for continuous irrigation (invasive) – 1812.3 cubic meters per hectare, for drip irrigation – 618.6 and subsurface irrigation – 506.4 cubic meters per hectare. (*Conclusions*) Based on the results of the experimental study carried out in farms with intensive gardens using various irrigation methods, continuous irrigation (invasive), drip irrigation and subsurface irrigation were compared in terms of water consumption. The results show that drip irrigation and subsurface irrigation ensure less water consumption than flood irrigation, by 46 per cent and 57 per cent respectively. It was found out that subsurface irrigation ensures 57 per cent water and 25-35 per cent mineral fertilizer economy, in comparison with the other methods of providing trees with water and nutrients. **Keywords:** intensive gardening, garden irrigation, water filters, pipelines, water flow, nutrient solution.

For citation: Zhuraev F.U., Karimov G.K. Oborudovanie i tekhnologiya dlya vnutripochvennogo orosheniya intensivnykh sadov v Bukharskoy oblasti Respubliki Uzbekistan [Equipment and technology for subsurface irrigation of intensive gardens in the Bukhara Region of the Republic of Uzbekistan] *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N2. 4-8 (In English). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-4-8.

Оборудование и технология для внутрипочвенного орошения интенсивных садов в Бухарской области Республики Узбекистан

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

Галиб Хаджикурбанович Каримов,
докторант, e-mail: karimov.golib1988@mail.ru

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

Реферат. Показали, что для обеспечения интенсивных садов водой применяют различные технологии: бороздковый полив, капельное или внутрипочвенное орошение. Отметим среди недостатков во всех вариантах большой расход воды, минеральных удобрений и энергии. (*Цель исследования*) Разработать автоматизированную систему внутрипочвенного орошения интенсивных садов грунтовыми водами с помощью электронасосов и с использованием солнечных батарей, а также создать математическую модель распределения почвенной влаги. (*Материалы и методы*) Создали специальные устройства в виде колышков для подачи воды с растворенными в ней минеральными удобрениями прямо в корневую си-

стему интенсивных садов. Исследовали их геометрические параметры и критерии размещения в почве с учетом расхода воды и питательных веществ. Изучили физико-механические, технологические свойства, механический состав и засоленность почвы. (*Результаты и обсуждение*) Показали, что при установке разработанного колышка обеспечивается увлажнение почвы через центральный трубопровод в радиусе 1,55-1,75 метра на глубине 0,7-0,9 метра. Разместили вокруг дерева 3-4 колышка, равноудаленных друг от друга, с наклоном по отношению к вертикальной оси на 20-30 градусов. Определили расход воды при различных способах орошения: при бороздковом поливе (контроль) – 1125,7 кубометра на гектар, при капельном орошении – 618,6 и внутрипочвенном – 506,4 кубометра на гектар. (*Выводы*) Определили, что внутрипочвенное орошение, по сравнению с другими способами обеспечения деревьев водой и питательными веществами, способствует экономии воды на 57 процентов, минеральных удобрений на 25-35 процентов.

Ключевые слова: интенсивное садоводство, орошение садов, фильтры воды, трубопроводы, расход воды, питательный раствор.

Для цитирования: Жураев Ф.У., Каримов Г.Х. Оборудование и технология для внутрипочвенного орошения интенсивных садов в Бухарской области Республики Узбекистан // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. N2. С. 4-8. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-4-8.

In the Republic of Uzbekistan, the need for water is increasing, and agriculture is experiencing a particular shortage of this resource: 85% of the water used in the industry comes from the neighbouring countries. In such conditions, it is important to minimize water consumption in agro-industrial production, including irrigation [1-4].

In foreign countries, positive results have been revealed when using subsoil irrigation of intensive gardens. They are confirmed by experimental and theoretical studies, as well as by mathematical modelling of moisture transfer. Experimental plants have been created that have successfully passed field tests [5, 6].

THE RESEARCH PURPOSE is to develop new equipment and technologies for intensive gardens irrigation in the soil and climatic conditions of the Bukhara region in Uzbekistan, as well as to create a mathematical model of the soil moisture distribution.

MATERIALS AND METHODS. In the region, meadow-alluvial soils are widespread, which texture is represented by light, medium and heavy sands. The groundwater level is at the depth of 1.5-2.0 m, the salinity is 1.0-1.2 g/l. Field experiments were carried out in 2016 at the Zodabek farm in the Kagan district of the Bukhara region. Six hectares are covered by an intensive orchard, represented by medium-sized Golden Delicious apple trees.

In accordance with the structure of the soil, the irrigation pegs were made from a polyethylene pipe with the diameter of 16-25 mm and the length of 30-80 mm.

We used systematic analysis, mathematical planning of experiments, modern methods for determining the water and energy consumption and conducting field experiments at the Research Institute of Agricultural Technology of Cotton Seed Production.

RESULTS AND DISCUSSIONS. The proposed irrigation technology provides for the use of groundwater in areas with water scarcity.

The automated groundwater irrigation system employs solar-powered electric pumps (*Fig. 1*). From a solar panel sized $4 \times 5 = 20 \text{ m}^2$, a voltage of 6-60 V is supplied to

the controller generating 12 V, charges the storage battery powered through an inverter (a device for converting direct current into alternating current with a voltage value

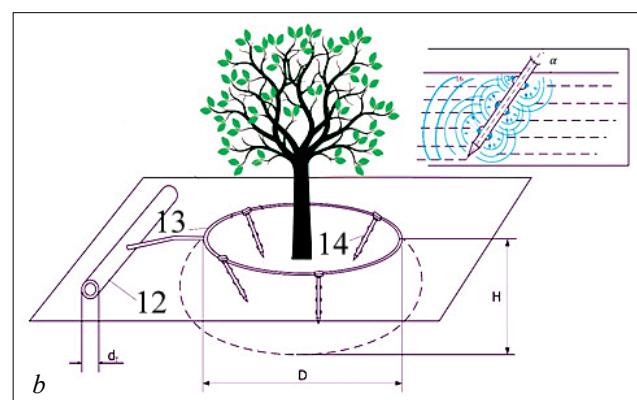
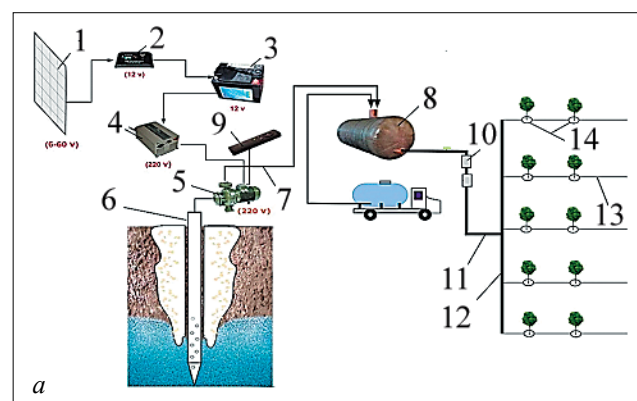


Fig. 1. The overall structure of the subsurface irrigation system (a) and a scheme of the peg installation in the seedling root system (b): 1 – solar panel; 2 – controller; 3 – storage battery; 4 – inverter; 5 – borehole pump; 6 – suction pipe; 7 – transport pipeline; 8 – water tank; 9 – automatic control panel; 10 – filters; 11 – main irrigation pipes; 12 – distribution pipes; 13 – thin tube; 14 – pegs; D is the diameter of the peg on the thin tube; H is the depth of soil moisture distribution from the peg; d_1 is the diameter of the distribution pipes; h is the distance between the holes in the peg; β – peg installation angle (60-70 degrees to the horizontal axis)

change) under a voltage of 220 V. A pump, capable of pumping 0.5-0.7 m³ of water per hour from the ground, takes water from a single 10-15 m depth well at the flow rate of 84.6 m³/day and fills a 100-ton cistern, from where the water is sent through a transport pipeline.

If the level of groundwater mineralization exceeds 0.085% in terms of chlorine ion, it is diluted with river water in appropriate proportions. Through a system of automatic control valves installed in the outlet of the tank, the water is treated with a water purifier. The main irrigation flow is directed to the pegs along the main pipes, distribution pipes and a thin pipe to provide the required amount of water (Fig. 1a) [7-12].

Three-four pegs intended for subsurface irrigation are placed in the soil equidistantly around the tree. They are inclined by 60-70° in relation to the horizon (Fig. 1b).

In the upper part, the pegs are connected by means of tees with pipes for supplying and discharging water. With the help of an additional segment, it is possible to increase the depth of the device. The lower part of the peg ends with a pointed cylinder.

During the operation, the water flows from top to bottom. A rubber diaphragm is installed in the peg cavity, which regulates the water flow uniformity. It expands and contracts depending on the pressure of the fluid (Fig. 2).

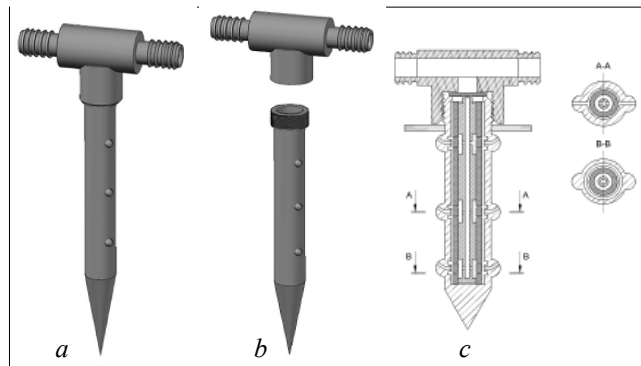


Fig. 2. The design of a peg for subsurface irrigation: a – general; b – fragmented; c – in section

On average, 1.8-2.5 liters of water flows through each hole in an hour, and the seedling's entire root system is irrigated by the moderate moistening of the soil with a mixture of mineral fertilizers. As a result, water savings amount to 55% compared to the local flood irrigation.

In addition to the flow compression, it tends to reveal inversion, that is, a change in the shape of the lateral motion along its length. For example, a square shape can take the shape of a cross or another shape. The liquid outflow through the irrigation peg hole was determined parametrically (Fig. 3).

Theoretically, the water flow can be calculated from the pipeline to the pipe distribution network.

The number of tree subsurface watering time periods for the entire growing season and for each month is determined by the following formula:

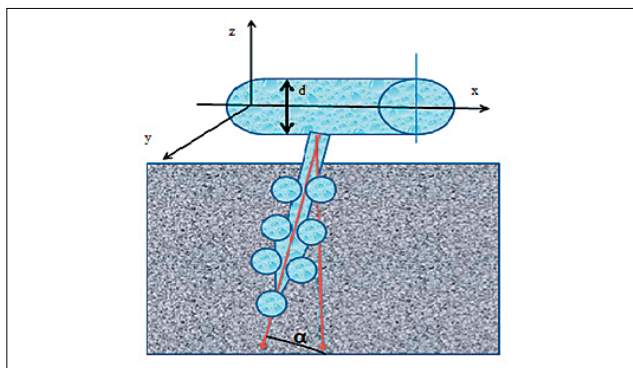


Fig. 3. The movement of water along the irrigation peg: d – the diameter of the thin tube; α – the angle of the peg in relation to the vertical axis (20-30 degrees)

$$k = V/m, \quad (1)$$

where k is the number of watering time periods;

V – irrigation rate for the entire period, m³/ha;

m – one-time irrigation rate, m³/ha.

The seasonal irrigation periods were determined by the generally accepted graphic-analytical method for monthly and ten-day water balance deficit based on tabular analysis.

The average duration of the between-irrigation period is:

$$N_1 = m/h, \quad (2)$$

where N_1 is the average interval between the watering time periods, days;

h – water balance deficit within a certain growing season, m³/day,

$$h = V/N, \quad (3)$$

where N is the duration of the growth period, days.

The time required to supply the amount of water corresponding to the irrigation rate was determined experimentally depending on the structure of the irrigation network, the irrigation rate and the soil properties [13].

For the subsurface irrigation, the watering time is determined by the formula:

$$t = \frac{m \cdot 1000}{q \cdot n_1 \cdot n_2}, \quad (4)$$

where t is the watering time, h;

q – water consumption by one peg, l/h;

n_1 – the number of pegs around one tree, pcs;

n_2 – the number of trees per hectare, pcs;

When moistening the rows of trees arranged in a line, the time required to supply the amount of water corresponding to the irrigation rate is:

$$t = \frac{m \cdot b \cdot \Delta l}{10 \cdot q}, \quad (5)$$

where b is the distance between the rows of irrigated crops, m;

Δl is the distance between the drops of the peg irrigation system, m.

During the intra-soil watering of fruit trees, only a part – 0.1-0.2 of the area is moistened, not the whole garden. This indicator usually depends on the plant type and variety, its age, size, planting density, soil and climatic conditions. In this case, the following expression is used to calculate the irrigation rate:

$$V = (R - Q) \frac{W_k \cdot r}{\sqrt{0,3 \cdot (1 - W_k + W_k^2)}}, \quad (6)$$

where R is evaporation from the surface of open water during the growing season, m^3/ha ;

Q is the amount of precipitation during the growing season, m^3/ha ;

r – coefficient of proportionality between evaporation from the surface of open water and water consumed by plants through the moisture circuit;

W_k is the moisture contour coefficient representing the wetted part of the plant nutrition zone.

For the surface irrigation of agricultural crops, the seasonal rate can be determined taking into account the bioclimatic coefficients of crops [14, 15]:

$$V = \frac{(W \sum d - Q) W_k}{\sqrt{0,3 \cdot (1 - W_k + W_k^2)}}, \quad (7)$$

where W is the bioclimatic coefficient for different climatic zones and crops;

$\sum d$ is the average daily moisture deficit during the growth of agricultural crops, mm.

For the subsurface irrigation, a one-time irrigation rate is calculated using the expression [15, 16]:

$$m = \frac{100 \cdot h \cdot g \cdot W_k (\varphi_y - \varphi_q)}{\sqrt{0,3 \cdot (1 - W_k + W_k^2)}}, \quad (8)$$

$$H = \frac{m \cdot \sqrt{0,3 \cdot (1 - W_k + W_k^2)}}{100 \cdot h \cdot g \cdot W_k (\varphi_y - \varphi_q)}, \quad (9)$$

where H is the depth of the moistened soil layer, m;

g – the volumetric weight of the reference soil layer, t/m^3 ;

y – the upper limit of the average soil layer moisture content, %;

q – the lower limit of the average soil layer moisture content, %.

To calculate the one-time and seasonal irrigation rates, the R , Q indicators can be found in the databases of hydrometeorological observations for the region [3, 5, 7].

Experimental studies were carried out in 2017-2019. An intensive garden of dwarf varieties covering the area of 6 hectares was divided into three 2-hectare plots.

The first plot is a reference one for the continuous irrigation, the second plot is for the drip irrigation, and the third one is for the subsurface irrigation.

The interval between the watering periods is 9-17 days.

Water consumption during the continuous irrigation was determined during the irrigation using a Chipoletti water meter, and in the other two options – during the drip and subsurface irrigation – this indicator was calculated based on the pump performance per unit time [12-14].

The boundaries of the water distribution were studied in the laboratory when organizing pile irrigation for various texture soils (Fig. 4).

In the laboratory experiment, at the end of the first hour the water absorption rate was 0.079 m/h in the medium sandy soils, at the end of the fourth hour it was 0.05 m/h, and the filtration coefficients were 0.018 and 0.013 m/h, respectively.



Fig. 4. The pile method for studying the water distribution boundaries: a – determining the peg angle when installed at an angle; b – initial soil moisture; c – complete soil moistening

WATER CONSUMPTION DEPENDING ON THE IRRIGATION METHOD							Table
Irrigation methods	2017 year		2018 year		2019 year		Water consumption on average for 3 years, m^3/ha
	Number of waterings	Irrigation rate, m^3/ha	Number of waterings	Irrigation rate, m^3/ha	Number of waterings	Irrigation rate, m^3/ha	
Furrow irrigation (control)	11	1080	12	1111.9	11	1185,2	1125,7
Drip	15	594	19	610.7	18	651,1	618,6
Subsurface	13	486	14	500.2	15	533	506,4

The experiments were carried out according to the following system: the first option (the reference one) – furrow irrigation, the second option – drip irrigation, the third option – subsurface irrigation (*table*).

Compared to the reference plot, water consumption during the drip irrigation was 507.1 m³/ha (45%), during the subsurface irrigation – 619.3 m³/ha (55%). As you can see, the subsurface irrigation is more efficient in terms of water saving. Compared to the reference option, the water consumption during the drip irrigation was reduced by 45% (507.1 m³/ha), and during the subsurface irrigation – by 55% (619.3 m³/ha).

CONCLUSIONS. For the irrigation of intensive gardens

with a moisture deficit, ground waters can be used supplemented with river water. The equipment and technology for the subsurface irrigation have been developed. Water consumption was as follows: for the furrow irrigation – 1125.7 m³/ha, for the drip irrigation – 618.6 and for the subsoil irrigation – 506.4 m³/ha. The subsurface irrigation, in comparison with other methods of providing trees with water and nutrients, increases water saving by 57%, mineral fertilizer saving by 25-35%. Excessive post-irrigation drainage and filtration losses were avoided while the topsoil was retained soft. Seasonal irrigation rates depend on rainfalls.

REFERENCES

1. Gulamov S.B. Features of application of fertilizers in dry irrigation. *International Journal of Engineering, Science and Mathematics*. 2018. Vol. 7. N7. 26-30 (In Uzbek).
2. Baraev F.A., Serikbaev B.S., Gulomov S.B. Nadezhnost' sistem kapel'nogo orosheniya [Reliability of drip irrigation systems]. *Irrigation and Melioration*. 2017. N4(10). 10-12 (In Uzbek).
3. Khamidov M., Muratov A. Effectiveness of rainwater irrigation in agricultural crops in the context of water resources. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. N1030(1). 012130 (In English).
4. Khamidov M.Kh., Isabaev K.T., Urazbaev I.K., Islomov U.P., Inamov A.N. Hydromodule of irrigated land of the southern districts of the republic of karakalpakstan using the geographical information system creation of regional maps. *European Journal of Molecular and Clinical Medicine*. 2020. N7(2). 1649-1657 (In English).
5. Khamidov M., Isabaev K., Urazbaev I., Inamov A., Mamatkulov Z. Application of geoinformation technologies for sustainable use of water resources. *European Journal of Molecular and Clinical Medicine*. 2020. N7(2). 1639-1648 (In English).
6. Khamidov M., Khamraev K. Water-saving irrigation technologies for cotton in the conditions of global climate change and lack of water resources. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. N883(1). 012077 (In English).
7. Zhuraev F.U., Musulmanov F.Sh. Primenenie tekhniki i tekhnologii dlya sil'nozasolennykh pochv [Equipment and technology application for washing highly saline soils]. *Sel'skhozaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N2. 29-33 (In Russian).
8. Juraev F., Karimov G. Water saving technique and technology of subsurface irrigation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. N883(1). 012095 (In English).
9. Alimdzhanov A.A., Karimov A.Kh., Nasibov B.R. Nedostatki planirovaniya vodopol'zovaniya na urovne vodopotrebitel'ey i assotsiatsiy vodopotrebitel'ey [Inadequacy of current water use planning at the level of water users and WUAs]. *Irrigation and Melioration*. 2020. N4(22). 12-18 (In Uzbek).
10. Gaybullaev B.Sh. Tyagovoe soprotivleniye korpusa pluga k ovoshchevodcheskomu traktoru [Tractive resistance of the body of the plow to vegetable-growing tractor]. *Irrigation and Melioration*. 2017. N2(8). 52-54 (In Russian).
11. Sadiev F.F., Yuldashev M.Z., Shirokova Yu.I., Paluashova G.K., Yakubov M.A. O metodakh vosstanovleniya gipsosnykh i sil'nozasolennykh pochv Syrdar'inskoy oblasti v sovremennykh usloviyakh [About methods for restoring gypsum-based and high salinity of soils of the Sirdarya region under modern conditions]. *Irrigation and Melioration*. 2019. N4(18). 7-13 (In Uzbek).
12. Khort D.O., Maistrenko N.A., Tereshin A.N., Vershinin R.V. Issledovanie usloviy sema yagod zemlyaniki sadovoy robotizirovannyimi mashinami [Studying the methods of harvesting garden strawberry with robotic machines]. *Sel'skhozaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N1. 27-33 (In Russian).
13. 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'skhozaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N3. 53-58 (In Russian).
14. Kurbanov R.K., Zakharova N.I. Application of vegetation indices to assess the state of crops. *Sel'skhozaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N2. 4-11 (In English).
15. Melikhova E.V. Sozdaniye sistemy podderzhki prinyatiya resheniy pri vybore rezhima orosheniya selskokhozyaystvennykh kultur [The development of a decision support system when choosing a crop irrigation regime]. *Melioratsiya*. 2019. N1(87). 28-22 (In Russian).
16. Abramovich G.N., Girshovich T.A., Krashenninnikov S.Y. et al. Teoriya turbulentnykh struy [The theory of turbulent jets]. Moscow: Nauka. 1984. 716 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 05.04.2021
The paper was submitted
to the Editorial Office on 05.04.2021

Статья принята к публикации 25.05.2021
The paper was accepted
for publication on 25.05.2021

УДК 631.15:338.984



DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-9-12

Determination of the Machine and Tractor Fleet Optimal Composition for a Model Cotton-Textile Cluster

Makhamad T. Toshboltaev,
Dr.Sc.(Eng.), professor;

Maoruf R. Dzhiyanov,
doctoral student, e-mail: djiyanov87@mail.ru

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

Abstract. The authors showed that the cotton-textile cluster efficiency (the capacity of the machine-tractor fleet, cotton yield, the production profitability) largely depended on the use of the optimal number of tractors and agricultural machines. The existing methods (theoretical, graphic, economic and mathematical) were difficult for practical use and did not take into account the specifics of mechanized cotton growing processes. Therefore, it was important to develop a simple normative method for determining the optimal composition of the machine and tractor fleet for clusters, corresponding to the technological map for the production of raw cotton. (*Research purpose*) To calculate the required amount of agricultural machinery based on the established standards. (*Materials and methods*) The authors developed an algorithm for determining the standard coefficients of the equipment necessity per 1000 hectares of arable land. These coefficients for each type of equipment were established in the context of technological operations of growing cotton: plowing, soil preparing for sowing, sowing seeds, cultivating the soil between cotton rows, mechanized removal of growth points of the main stems and side branches of plants, defoliation with chemicals, machine harvesting and transportation of harvested cotton – raw. (*Results and discussion*) The authors proposed the term “model cotton-textile cluster”. They calculated the required amount of equipment for such a cluster with an area of 13,732 hectares. They determined the percentage of the machine and tractor fleet: the share of tractors – 28 percent, cultivators – 22, trailers – 19.8, cotton pickers – 13.8, the rest – 16.4 percent. They emphasized that the machines fleet could expand with the arrival of new modern machines produced by machine-building plants of the republic and imported from foreign countries. (*Conclusions*) The authors accepted the machine and tractor fleet of the cotton-textile cluster with the number of equipment 1660 units as rational. They proved that it ensured the implementation of all technological operations within agrotechnical terms.

Keywords: model cotton-textile cluster, cotton growing, optimal machine and tractor fleet composition, technological operations, standard coefficients.

For citation: Toshboltaev M.T., Dzhiyanov M.R. Opredelenie optimal'nogo sostava mashinno-traktornogo parka dlya model'nogo khlopkovo-tekstil'nogo klastera [Determination of the machine and tractor fleet optimal composition for a model cotton-textile cluster]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N2. 9-12 (In English). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-9-12.

Определение оптимального состава машинно-тракторного парка для модельного хлопково-текстильного кластера

Махамад Тожалиевич Тошболтаев,
доктор технических наук, профессор;

Маоруж Рашидович Джиянов,
докторант, e-mail: djiyanov87@mail.ru

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

Реферат. Показали, что эффективность хлопково-текстильного кластера (мощность машинно-тракторного парка, урожайность хлопчатника, рентабельность производства) во многом зависит от применения оптимального количества тракторов и сельхозмашин. Существующие методики (теоретические, графические, экономико-математические) сложны для практического использования и не учитывают специфику механизированных процессов хлопководства. Поэтому важно разработать простой нормативный метод определения оптимального для кластеров состава машинно-тракторного парка, соответствующего технологической карте по производству хлопка-сырца. (*Цель исследования*) Рассчитать требуемое количество сельхозтехники на основе установленных нормативов. (*Материалы и методы*) Разработали алгоритм определения нормативных коэффициентов потребности в технике на 1000 гектаров пашни. Эти коэффициенты для каждого типа техники установили в разрезе технологических операций выращивания хлопчатника: пахота, подготовка почвы к посеву, посев семян, культивация почвы в междурядьях хлопчатника, механизированное удаление точек роста главных стеблей и боковых ветвей растений, дефолиация химикатами, машинная уборка и транспортировка убранного хлопка-сырца.

(*Результаты и обсуждение*) Предложили термин «модельный хлопково-текстильный кластер». Вычислили требуемое количество техники для такого кластера с площадью 13732 гектара. Определили процентный состав машинно-тракторного парка: доля тракторов – 28 процентов, культиваторов – 22, прицепов – 19,8, хлопкоуборочных машин 13,8, остальных – 16,4 процента. Подчеркнули, что шлейф машин может расширяться при поступлении новых современных машин, выпускаемых машиностроительными заводами республики и импортируемых из зарубежных государств. (*Выводы*) Признали рациональным машинно-тракторный парк хлопково-текстильного кластера с количеством техники 1660 единиц. Доказали, что он обеспечивает выполнение всех технологических операций в агротехнические сроки.

Ключевые слова: модельный хлопково-текстильный кластер, хлопководство, оптимальный состав машинно-тракторного парка, технологические операции, нормативные коэффициенты.

Для цитирования: Тошболтаев М.Т., Джиянов М.Р. Определение оптимального состава машинно-тракторного парка для модельного хлопково-текстильного кластера // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. №2. С. 0-0. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-0-0.

In Uzbekistan, there is a rapid increase in the number of cotton-textile clusters intended for growing cotton, processing raw cotton and producing finished products [1]. Each cluster is expected to have a fleet of agricultural machines that ensure the implementation of such agrotechnical operations as ploughing, soil preparing for sowing, seed sowing, intertilling, mechanized removal of plant growing points, defoliation of fields, machine harvesting and transportation of raw cotton at minimal operating costs [2-7]. Provided the cluster is insufficiently equipped with regulated technological maps for growing cotton, necessary types and models of tractors and other agricultural vehicles, it results in the undermined timing and quality of technological operations, and decreased mechanization level and production efficiency of the entire industry.

There is vast literature on the issues of substantiating the rational composition of agricultural producers' (farmers, agricultural firms, agricultural holdings') fleet [8-12].

It is noted that it is important to meet the following requirements: an appropriate fleet of vehicles must contribute to high yields; each type of machine must fulfil the corresponding technological operation in full scale within the set agrotechnical terms; product production must be carried out at minimal costs; the expansion of the fleet with new models should not reduce the use of existing equipment and require additional resources; the selection of new machines should take into account the machine operators' qualifications; it is necessary to prevent purchasing different models of the same machine type.

The existing methods are difficult for practical use and do not take into account the specifics of mechanized cotton-growing processes [13-20]. Therefore, the substantiation of the rational composition of the machine and tractor fleet for the cotton and textile cluster has become an important scientific and methodological task.

THE RESEARCH PURPOSE is to determine the standards for the cotton-textile cluster needs for technology and to calculate the optimal composition of their machine and tractor fleet.

MATERIALS AND METHODS. The following algorithm was used to determine the standard coefficients of the

need for equipment per 1000 hectares of arable land:

1) the state tests protocols of the Center for Certification and Testing of Agricultural Machinery and Technologies were used to choose a changeable capacity value of a specific machine model (machine-tractor unit) – w_c ;

2) based on the operational data of the regional departments of agriculture, sets of one shift duration values (T_c) were obtained for a vehicle or machine-tractor unit performing the corresponding technological operation and considering the number of shifts per day (n_c). By the summarizing and statistical processing of the numerical data, their arithmetic mean values for the Republic of Uzbekistan were determined;

3) the machine productivity per day was calculated by the formula:

$$w_1 = w_c T_c n_c,$$

where w_1 is the machine productivity per day, hectares;

w_c – machine productivity per shift, hectares;

T_c – one shift duration, h;

n_c – a number of shifts per day.

4) as the agrotechnical season duration (T_m), the peak of the given season was taken not the calendar period from its beginning to the end. At this time, as a rule, all the necessary machines are involved in the work, sudden failures are reduced and sustainable machinery operation is ensured. Test engineers clock the w_c , T_c and n_c parameters to calculate the machine's performance in one day;

5) the seasonal machine output (w_m , ha) is determined by the formula:

$$w_m = w_1 T_m;$$

6) the standardised coefficient or the required number of specific type machines per 1000 hectares of the cotton field was set as follows:

$$M_T = 1000/w_m.$$

The calculated values (M_T) were summarized for the tractor and machine types and models (*table*).

RESULTS AND DISCUSSION. Let us introduce the term «a model cotton-textile cluster» which means a cluster of account in which the soil, climatic, production and other features of the cluster group are relatively fully reflected.

Let us calculate the required amount of equipment of each type for a model cotton-textile cluster with the square

MACHINE AND TRACTOR FLEET COMPOSITION PER 13,732 HECTARES OF ARABLE LAND IN THE COTTON AND TEXTILE CLUSTER		
Name, type and model of equipment	Standard coefficient, MT	Required amount of equipment, NT, units
Wheeled and tracked arable tractors such as Belarus 1221.2, MX-140, AXOS 340C, VT-100	8.572	118
Rowing tractors such as MTZ-80X, TTZ-811 for row spacing 90 cm	13.300	183
Universal row-crop tractors such as MTZ-82, TTZ-812	12.000	165
Planners with laser devices	1.388	19
Subsoilers such as GR-270, GRP-3/5	0.952	13
Spreaders of mineral fertilizers such as GS2-600, RMU-0.75	3.846	53
Tractor trailers such as 2PTS-4-793A (for one universal row-crop tractor)	2 ед.	330
Plows such as PYa-3-35, PLN-4-35	8.572	118
Disc harrows such as KD-3000, TDB-3/5	4.651	64
Pneumatic seeders such as Case IH 1200	2.857	39
Cotton cultivators such as KHU-4	13.300	183
Device for removing plant growth points, such as PChM-4B	13.300	183
Chemical sprayers VP-1, OVKh-600, OSHU-50	4.000	55
Cotton pickers: horizontal spindle vertical spindle	10.000 16.666	137 229

of $E_m = 13732$ hectares of cotton using the following formula:

$$N_T = E_m M_T / 1000, \text{ units (table).}$$

For example, the demand for wheeled and tracked arable tractors equals to $N_T = 13.732 \cdot 8.572 = 118$ units; for row-crop tractors for the intertillaging of 90 cm – $N_T = 13.732 \cdot 13.3 = 183$ units etc.

The table shows that for the complete mechanization of technological operations on 13,732 hectares of arable land for the model cluster, 1,660 agricultural machinery units will be required. The share of tractors is 28%; trailers – 19.8%; cotton cultivators equipped with a device for removing cotton stalks growing points – 22%; horizontal-spindle cotton pickers – 8.25%, vertical-spindle cotton pickers – 13.8%.

All new and more efficient tractor and agricultural

machine models, both manufactured by the machine-building plants of the Republic of Uzbekistan and imported, must pass state tests.

The test reports help to determine the values of w_c , T_c , n_c , w_1 , T_m и w_m . Thus, the number of machines for 1000 hectares of arable land can be obtained by the equation: $M_T = 1000 / w_m$.

CONCLUSIONS. The term “a model cotton-textile cluster” was introduced and defined. A normative method was developed to determine the number of tractors and agricultural machines per 1000 hectares of cotton arable land. Based on this method, the required number of vehicles in the fleet was calculated for a model cotton-textile cluster with a cotton area of 13,732 hectares. This vehicle fleet containing 1660 units ensures the implementation of all technological operations within the set agrotechnical terms.

REFERENCES

1. Toshboltaev M., Djijanov M., Mamatkulova M., Tadjibekova I., Temirkulova N. Normative method for the substantiation of the composition and quantity of machines required for 1000 hectares of cotton field in the condition of Uzbekistan. *International Journal of Agriculture, Environment and Bioresearch*. 2021. Vol. 6. N1. 68-76.
2. Toshboltaev M. Nauchno-metodologicheskie osnovy povysheniya stepeni ispol'zovaniya mashinno-traktornykh agregatov v sel'skom khozyaistve Uzbekistana [Scientific and methodological foundations of increasing the degree of use of machine-tractor units in agriculture of Uzbekistan. Tashkent: Science and Technology]. Tashkent: Nauka i tekhnologiya. 2017. 319-333 (In Russian).
3. Shilo I.N., Romanyuk N.N., Orda A.N. et al. Vliyaniye raspre-

- deniya nagruzki po osyam mashinno-traktornykh agregatov na glubinu sleda [Influence of load distribution along the axes of machine-tractor units on the depth of the track]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. N2. 38-43 (In Russian).
4. Arzhenovskiy A.G., Kozlov D.S., Petrishchev N.A. Metod polucheniya tyagovoy kharakteristiki traktora v ekspluatatsionnykh usloviyakh [Method of obtaining traction characteristics of a tractor in operating conditions]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. N5. 25-30 (In Russian).
5. Arzhenovskiy A.G. Sovershenstvovanie metodov i sredstv opredeleniya tyagovo-dinamicheskikh i toplivno-ekonomicheskikh pokazateley traktora v ekspluatatsionnykh usloviyakh [Improvement of methods and means for determining the traction-dynamic and fuel-economic indicators of a tractor in operating con-

ditions]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2017. N11. 29-35 (In Russian).

6. Senin P.V., Galin D.A. Metody i sredstva ispytaniy i diagnostiki tekhnologicheskogo oborudovaniya i mashin v APK FGBOU VO «Penzskiy gosudarstvennyy universitet arkhitektury i stroitel'stva» [Methods and tools for testing and diagnostics of technological equipment and machines in the agro-industrial complex of the Penza State University of Architecture and Construction]. OAO «Saranskiy priborostroitel'nyy zavod». Saransk: 2017. 52 (In Russian).

7. Lipkovich E.I. Nekotorye strategicheskie perspektivy APK Rossii [Some strategic prospects of the agro-industrial complex of Russia]. *Vestnik agrarnoy nauki Dona*. 2017. N1(37.1). 5-17 (In Russian).

8. Zavrazhnov A.I., Vedishchev S.M., Glazkov Yu.E., Milovanov A.V., Prokhorov A.V., Khol'shev N.V. Ekspluatatsiya mashinno-traktornogo parka [Operation of the machine and tractor fleet]. Tambov: TGTU. 2019. 1-223 (In Russian).

9. Timoshchenko K.S., Pertsev S.N. Obzor i analiz metodov rascheta ratsional'nogo sostava mashinno-traktornogo parka khozyaistva [Review and analysis of methods for calculating the rational composition of the machine and tractor fleet of the economy]. *Vestnik studencheskogo nauchnogo obshchestva*. 2019. N2. 26-28 (In Russian).

10. Korotkikh E.V., Mitropolova L.V. Sovremennoe sostoyaniye mashinno-traktornogo parka v sel'skom khozyaistve Primorskogo kraia [The current state of the machine and tractor fleet in agriculture of the Primorsky Territory]. *Interaktivnaya nauka*. 2017. N11(21). 66-68 (In Russian).

11. Kovalev I.L., Kostomakhin M.N. O predposylkakh sozdaniya edinogo respublikanskogo tsentra distantsionnogo monitoringa i upravleniya parkom sel'skokhozyaistvennoy tekhniki [On the prerequisites for creating a unified republican center for remote monitoring and management of a fleet of agricultural machinery]. *Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivaniye i remont*. 2019. N4. 62-76 (In Russian).

12. Nechaev V.I., Mikhaylushkin P.V., Zakarchevskiy O.V. Metodicheskie podkhody tekhniko-tekhnologicheskoy modernizatsii sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva gosudarstv-chlenov EAES [Methodological approaches to technical and technological modernization of agricultural production of the EAEU member states]. *Ekonomika sel'skogo khozyaistva Rossii*. 2019. N2. 85-90 (In Russian).

13. Nechaev V.I., Sandu I.S., Mikhaylushkin P.V., Zakarchevskiy O.V. Metodika otsenki investitsiy v tekhniko-tekhnologicheskuyu modernizatsiyu sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva [Methodology for assessing investments technical and techno-

logical modernization of agricultural production]. *APK: Ekonomika, upravleniye*. 2019. N3. 47-55 (In Russian).

14. Zykov A.V., Yunin V.A., Zakharov A.M. Model' optimizatsii sostava mashinno-traktornogo parka na osnove primeneniya adaptivnykh tekhnologii proizvodstva sel'skokhozyaistvennoy produktsii v usloviyakh severo-zapadnogo regiona RF [Model of optimization of the composition of the machine and tractor fleet based on the use of adaptive technologies for the production of agricultural products in the north-western region of the Russian Federation]. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*. 2018. N11(77). 47-51 (In Russian).

15. Agarkova L.V., Malov G.I. Optimizatsiya sostava i ispol'zovaniya mashinno-traktornogo parka v zernovom proizvodstve [Optimization of the composition and use of the machine and tractor fleet in grain production]. *Kant*. 2017. N2(23). 87-93 (In Russian).

16. Kovalev I.L. Problemy obnovevaniya mashinno-traktornogo parka APK Belarusi [Problems of updating the machine and tractor fleet of the agro-industrial complex of Belarus]. *Sel'skokhozyaistvennaya tekhnika: obsluzhivaniye i remont*. 2017. N10. 42-50 (In Russian).

17. Al't V.V., Isakova S.P., Lapchenko E.A. Matematicheskaya model' formirovaniya optimal'nogo mashinno-traktornogo parka s uchetoм chelovecheskogo faktora [Mathematical model of the formation of an optimal machine and tractor fleet taking into account the human factor]. *Aktual'nye problemy elektronnoy priborostroeniya APEP*. 2016. 135-138 (In Russian).

18. Toigambaev S.K., Didmanidze O.N. Ekonomiko-matematicheskaya model' komplektovaniya i tekhnicheskogo obsluzhivaniya parka mashin proizvodstvennykh predpriyatiy Kostanayskoy oblasti s uchetoм mezhkhozaystvennykh svyazey [Economic and mathematical model of acquisition and maintenance of the fleet of machines of industrial enterprises of the Kostanay region, taking into account inter-farm relations]. *Ekonomicheskie issledovaniya i razrabotki*. 2020. N5. 184-195 (In Russian).

19. Kataev Yu.V., Malykha E.F. Ekonomicheskoe obosnovaniye optimal'nogo sostava mashinno-traktornogo parka v sel'skokhozyaistvennom proizvodstve [Economic substantiation of the optimal composition of the machine and tractor fleet in agricultural production]. *Nauka bez granits*. 2020. N11(51). 35-41 (In Russian).

20. Zubina V.A. Analiz kriteriev optimizatsii sostava traktornogo parka v zavisimosti ot tipa vosproizvodstvennogo protsesssa [Analysis of the criteria for optimizing the composition of the tractor fleet depending on the type of reproduction process]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2017. N4(25). 281-285 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 27.01.2021
The paper was submitted
to the Editorial Office on 27.01.2021

Статья принята к публикации 07.05.2021
The paper was accepted
for publication on 07.05.2021

Исследования параметров и режимов работы аппарата для очеса льна на корню

Виктор Григорьевич Черников,
доктор технических наук, профессор,
член-корреспондент РАН, главный научный
сотрудник, e-mail: v.chernikov@fncl.k.ru;

Роман Анатольевич Ростовцев,
доктор технических наук, профессор РАН,
директор, e-mail: r.rostovcev@fncl.k.ru;
Сергей Викторович Соловьев,
инженер-проектировщик, e-mail: s.solovyov@fncl.k.ru

Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Российская Федерация

Реферат. Показали, что основной технологический процесс в комбайновом и раздельном способах уборки льна-долгунца – отделение семенной части урожая от стеблей. Подтвердили, что от его совершенства зависят потери семян и соломы, выход и качество волокна, состав вороха, трудоемкость и энергоемкость его сушки и переработки. (*Цель исследования*) Разработать технологию очеса льна-долгунца на корню очесывающим устройством, изучить его параметры и режимы работы. (*Материалы и методы*) Исследовали технологический процесс очеса льна на корню очесывающим устройством. Разработали экспериментальную установку очесывающего аппарата. Предложили модель теоретического расчета исходя из физико-механических свойств льна-долгунца и агротехнических требований для его уборки. (*Результаты и обсуждение*) Теоретически определили: оптимальную высоту, кинематический режим работы, чистоту очеса, радиус барабана очесывающего устройства, провели лабораторные исследования. Показали, что обмолот семян в поле позволит снизить потери семян льна на 10 процентов и отход стеблей в путанину в процессе уборки – на 18 процентов, сократить количество уборочной техники, численность персонала, уменьшить себестоимость продукта. Выявили возможность повысить производительность путем увеличения ширины захвата жатки: например, ширина захвата жатки зернового комбайна около 4 метров, а льноуборочного – 1,52 метра, то есть производительность уборки льна увеличится при одной и той же скорости в 2,6 раза, а на более высокой скорости – в 3 раза. Сократили одну единицу техники – ворохоразделовательную машину, поскольку технологическую операцию по переработке вороха осуществляет зерновой комбайн. (*Выводы*) Представили теоретическое обоснование параметров и режимов работы очесывающего аппарата для очеса льна-долгунца на корню. Предложили модель их определения на основе физико-механических свойств льна и агротехнических требований для его уборки.

Ключевые слова: лен-долгунец, очесывающее устройство, теребильно-очесывающий аппарат, уборка льна-долгунца.

Для цитирования: Черников В.Г., Ростовцев Р.А., Соловьев С.В. Исследования параметров и режимов работы аппарата для очеса льна на корню // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. №2. С. 13-18. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-13-18.

Study On Parameters and Operating Modes of the Device for Deseeding Flax in the Field

Viktor G. Chernikov,
Dr.Sc.(Eng.), professor, corresponding member
of the Russian academy of sciences, chief researcher,
e-mail: v.chernikov@fncl.k.ru;

Roman A. Rostovtsev,
Dr.Sc.(Eng.), professor of the Russian academy
of sciences, director, e-mail: r.rostovcev@fncl.k.ru;
Sergey V. Solov'ev,
design engineer, e-mail: s.solovyov@fncl.k.ru

Federal Scientific Center for Bast Crops, Tver, Russian Federation

Abstract. The authors showed that the main technological process in the combined and separate methods of fiber flax harvesting is deseeding or separating the seed part of the crop from the stems. It was confirmed that there is a direct impact of this process success on seed and straw losses, the fiber yield and quality, the heap composition, the labor intensity and energy consumption of flax drying and processing. (*Research purpose*) To develop a technology for stripping fiber flax with a comb deseeder during harvesting, to study the deseeders' specifications and operating modes. (*Materials and methods*) The authors studied the technological process of stripping flax with a comb deseeder. An experimental plant of a comb deseeder was designed. A model of theoretical calculation was proposed based on the physical and mechanical properties of fiber flax and agrotechnical requirements for its harvesting. (*Results*

and discussion) The authors theoretically determined the comb deseeders' optimal height, operation kinematic mode, stripping cleanliness, the radius of the stripper drum. Laboratory studies were conducted. It was shown that threshing seeds in the field will reduce the loss of flax seeds by 10 per cent and the stem waste due to tangling during the harvesting process – by 18 per cent. It will also reduce the number of harvesting vehicles, personnel, and the cost of product. The authors identified an opportunity to increase productivity by increasing the width of the header grip: for example, the width of a grain harvester header is about 4 meters, and the width of a flax harvester header is 1.52 meters, that is, the productivity of flax harvesting will increase 2.6 times at the same speed, and 3 times at a higher speed. It was possible to eliminate one piece of equipment – a heap separating machine, since the technological operation of heap processing is carried out by a grain harvester. (Conclusions) The authors presented a theoretical substantiation of the comb deseeders' operating parameters and modes for stripping fiber flax in the field. The authors proposed a model to determine them based on the physical and mechanical properties of flax and agrotechnical requirements for its harvesting. **Keywords:** fiber flax, comb deseeders, flax pulling and combing device, fiber flax harvesting.

For citation: Chernikov V.G., Rostovtsev R.A., Solov'ev S.V. Issledovaniya parametrov i rezhimov raboty apparata dlya ochesa l'na na kornyu [Study on parameters and operating modes of the device for deseeding flax in the field]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N2. 13-18 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-13-18.

Основной технологический процесс в комбайновом и раздельном способах уборки льна-долгунца – отделение семенной части урожая от стеблей. От его совершенства зависят потери семян и соломы, выход и качество волокна, состав вороха, трудоемкость и энергоемкость его сушки и переработки [1, 2].

Стеблевой слой подвергается механическим воздействиям рабочего органа и разделяется на стебли и семенную часть – льняной ворох. Важно, чтобы семенные коробочки не разрушались, а стебли льна не повреждались, сохраняли свою целостность и природную прочность. Поэтому при исследовании способов отделения семенной части от стеблей – очеса льна, наряду с изучением силовых воздействий и разнообразных деформаций обрабатываемого материала, необходимо учитывать общие закономерности рабочего процесса разделения массы льна на стебли и семенные коробочки, то есть кинематики процесса очеса льна, так как задача в конечном счете сводится к разделению массы льна на компоненты, а не просто к разрушению связей между ними [3].

Цель исследования – разработать технологию очеса льна-долгунца на корню очесывающим устройством, изучить его параметры и режимы работы.

Данная технология позволит решить несколько задач:

- снизить потери семян льна-долгунца, отход стеблей в путанину;
- осуществить обмолот семян непосредственно в поле;
- уменьшить количество задействованной на уборке льна техники;
- сократить затраты труда.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Разработали экспериментальную установку и методики проведения экспериментов (рис. 1). Теоретически определили: высоту установки очесывающего устройства, кинематиче-

ский режим работы, чистоту очеса, радиус барабана очесывающего устройства.

Растительная масса закрепляется на ленте транспортера, соединенной с транспортером-питателем, который состоит из сварной рамы, регулируемых опор и ленточного транспортера.

Лента транспортера движется при помощи мотор-редуктора. Шкивы приводного вала и вала мотор-редуктора соединены ременной передачей. Линейная скорость транспортера регулируется через щит управления, закрепленный на раме, диапазон скорости от 0 до 2,5 м/с.

Растительная масса подается к очесывающему устройству, имеющему независимую несущую раму. На очесывающем роторе закреплены съемные гребенки. Предусмотрена возможность изменения угла наклона относительно центра очесывающего ротора.

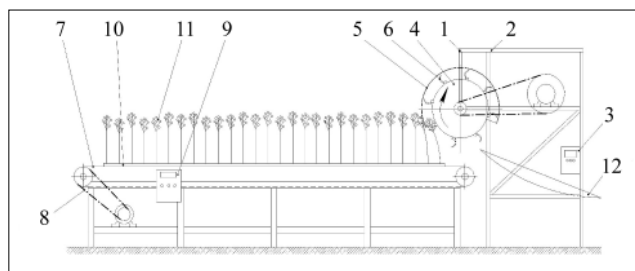


Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – очесывающее устройство; 2 – рама очесывающего устройства; 3 – пульт управления; 4 – очесывающий ротор; 5 – обтекатель; 6 – гребенка очесывающего устройства для уборки льна; 7 – транспортер-питатель; 8 – привод транспортера питателя; 9 – пульт управления; 10 – лента транспортера; 11 – растительная масса; 12 – материалосборник

Fig. 1. The diagram of the experimental plant: 1 – comb deseeders/stripper; 2 – stripper frame; 3 – control panel; 4 – stripping rotor; 5 – fairing; 6 – comb of the flax harvesting comb deseeders; 7 – conveyor-feeder; 8 – feeder conveyor drive; 9 – control panel; 10 – conveyor belt; 11 – plant mass; 12 – material collector

Привод очесывающего ротора осуществляется шкивами, установленными на его валах, а электродвигателя – через ременную передачу. Диапазон частоты вращения очесывающего ротора – от 0 до 600 об/мин – регулируется с щита управления, размещенного на несущей раме очесывающего устройства.

При движении транспортера закрепленная на нем растительная масса взаимодействует с зафиксированным обтекателем очесывающего устройства (с возможностью изменения угла установки). Отклоняясь, она попадает к очесывающим гребенкам, которые, перемещаясь с ротором снизу вверх, захватывают растительную массу и направляют ее в прорези между зубьями. После взаимодействия зубьев гребенки со льном образуется масса, которая состоит из свободных семян, семенных коробочек и путанины. Эта масса попадает в материалосборник.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. От количества стеблей, поступающих к очесывающему барабану теребильного аппарата, зависит качество очеса, отход стеблей в путанину [4].

Чистота очеса во многом определяется толщиной ленты стеблей льна. Плотность ленты зависит от числа стеблей на 1 м² поля, ширины захвата теребильной части аппарата, от скорости движения машины и скорости секции теребильного аппарата [5].

Плотность ленты стеблей, зажатых в теребильной секции, можно определить по формуле [6]:

$$\delta = \frac{n \cdot B \cdot V_M}{V_T \cdot z}, \quad (1)$$

где δ – плотность ленты стеблей, кг/м²;

n – число стеблей на 1 м² поля, шт.;

B – ширина захвата теребильной части машины, м;

V_M – скорость движения машины, м/с;

V_T – скорость секции теребильного аппарата, м/с;

z – число теребильных секций, шт.

Теребильные секции должны подавать стебли так, чтобы все коробочки попадали в зону очеса. Это достигается установкой соответствующей высоты очеса.

Рассмотрим процесс входа в ленту зуба барабана, ось которого перпендикулярна теребильным секциям теребильного аппарата (рис. 2) [7]:

$$P_T = P_{из} + P_{ин}, \quad (2)$$

где, P_T – сила, необходимая для теребления льна, Н;

$P_{из}$ – сопротивление стебля изгибу, Н;

$P_{ин}$ – сила инерции стебля, Н.

Оптимальную скорость движения машины вычисляем с учетом нескольких параметров [8]:

$$V_M = \frac{P_m}{m \cdot c}, \quad (3)$$

где P_m – напряжение теребления (сила), Н;

m – объемная масса длины стебля, кг;

c – скорость распространения упругой деформации стебля, м/с.

Тогда величина «мертвой зоны» будет равна:

$$v = l_{ст} - a, \quad (4)$$

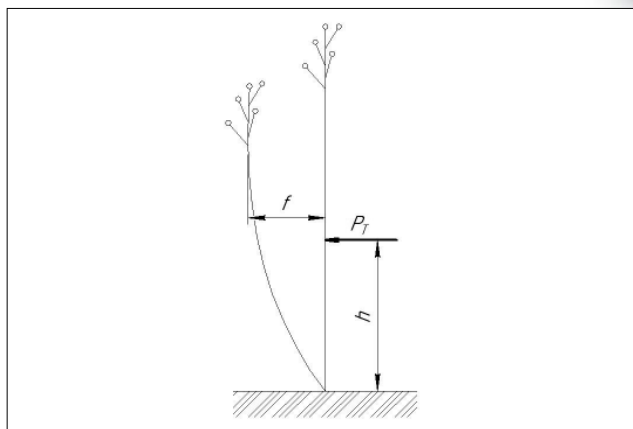


Рис. 2. Схема к расчету силы теребления: P_T – напряжение теребления (сила), Н; f – перемещение стебля льна в момент захвата его теребильным аппаратом, м; h – расстояние от точки контакта стебля с теребильным аппаратом, до поверхности поля, м

Fig. 2. The diagram for calculating the pulling force: P_T – pulling tension (force), N; f – flax stem movement the at the moment of being grabbed by the flax pulling device, m; h – distance between the point of stem contact with the flax pulling device and the field surface, m

где v – расстояние от зоны очеса до поверхности поля, м;

$l_{ст}$ – средняя длина стебля льна поступающий ленты от теребильных секций, м;

a – зона очеса, зависит от расположения семенных коробочек на стеблях льна и соответствующей высоты очеса, м.

Точка A – соответствует началу очеса, точка B – концу расположения семенных коробочек на стебле (рис. 3).

Зона очеса и его чистота зависят от основных параметров очесывающего барабана: диаметра, длины, конструкции очесывающей гребенки, ширины зазора между ее зубьями и формы самого зуба [9].

В процессе очеса создается поток стеблей в виде ленты, которая подвергается зажиму и транспортируется теребильными секциями вдоль гребней очесывающего барабана. С целью снижения отхода стеблей в путанину и повышения надежности жатки необходимо, чтобы максимальная сила трения F_c между стеблем и поверхностью теребильных ремней была больше силы P_T , необходимой для теребления [10]:

$$F_c > P_T. \quad (5)$$

Максимальная сила трения равна:

$$F_c = 2 \cdot \frac{P_p}{c \cdot \alpha_c} \cdot d_c \cdot \varphi_0 \cdot q_c, \quad (6)$$

где, P_p – ширина ремня, м;

d_c – диаметр стебля, м;

φ_0 – статический коэффициент трения стеблей льна по резине;

q_c – давление в ручье, Н/м²;

α_c – угол отклонения стебля в ручье, град.

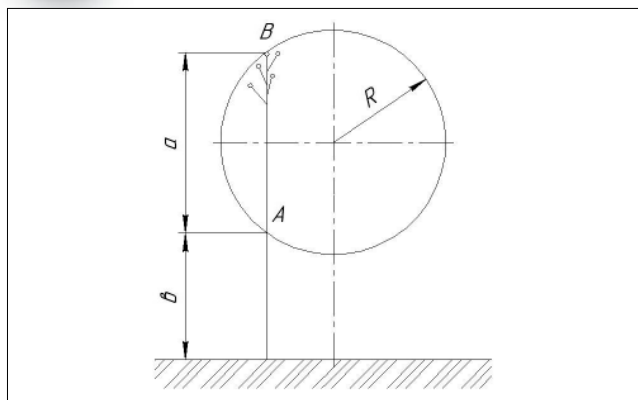


Рис. 3. Схема к расчету установки высоты очесывающего устройства: a – зона очеса, зависит от расположения семенных коробочек на стеблях льна и соответствующей высоты очеса, м; b – расстояние от зоны очеса до поверхности поля, м; точка A соответствует началу очеса, точкой B отмечен конец расположения семенных коробочек на стебле; R – радиус вершин очесывающих гребенок ротора, м

Fig. 3. The diagram for calculating the height setting for the deseeding (stripper): a – stripping zone, depending on the location of the seed pods on the flax stems and the corresponding stripping height, m; b – distance from the stripping zone to the field surface, m; point A corresponds to the beginning of stripping, point B marks the end of the seed pod location on the stem; R – radius of the rotor comb tops, m

Во время своего движения очесывающие гребенки описывают циклоиды [11]:

$$\begin{cases} x = V_M \cdot t + r \cdot \cos \omega \cdot t \\ y = r \cdot \sin \omega \cdot t \end{cases}, \quad (7)$$

где t – время движения, с;

r – радиус ротора по концам пальцевых элементов, м;

ω – угловая скорость, рад/с.

Форма циклоиды зависит от показателя кинематического режима работы λ очесывающего рабочего органа:

$$\lambda = \frac{V_{OK}}{V_M}, \quad (8)$$

где V_{OK} – окружная скорость очесывающего рабочего органа, м/с;

V_M – поступательная скорость жатки, м/с.

Продифференцировав выражение (7) по времени, получим уравнения, составляющие абсолютную скорость очеса:

$$\begin{cases} V_X = \frac{dx}{dt} = V_M + r \cdot \sin \omega \cdot t \\ V_Y = \frac{dy}{dt} = r \cdot \cos \omega \cdot t \end{cases}, \quad (9)$$

где V_X и V_Y – скорость движения крайних точек гребенок ротора, м/с.

Рассчитаем радиус барабана, очесывающий жатки. Он оказывает первостепенное значение на качественные показатели уборки льна. Высота стеблей льна варьируется от 800 до 1200 мм, что усложняет технологический процесс и приводит к значительным

повреждениям стеблей. Для снижения потерь необходимо установить взаимосвязь параметров конструкции рабочих органов и технологических режимов работы жатки с морфологическими признаками растения. Рассмотрим взаимодействие зубьев гребенки с лентой льна.

Угол начала α_H процесса очеса определяется из условия, что расстояние между обтекатель и ротором должно быть минимальным. Очес будет происходить на участке S за единицу времени t в момент горизонтального положения гребенки [12-13].

$$\alpha_H \geq 90^\circ - (\mu - \theta), \quad (10)$$

где μ – угол начала очеса, град.;

θ – угол скольжения стеблей льна о поверхность зубьев, град.;

α_H – угол наклона стеблей от вертикали, град.

Угол окончания процесса очеса определяется из условия (10), при котором исключается заклинивание стеблей льна боковыми поверхностями зубьев (рис. 4).

Для очеса стеблей льна необходимо, чтобы зона расположения семян на стеблях была меньше ширины воздействия гребенки. Основными показателями очесывающих устройств роторного типа служат качество работы и чистота очеса [14-16].

Качество работы очесывающего аппарата зависит от соотношения зоны расположения семенных коробочек в ленте и рабочей зоны очеса самого аппарата. Колебания верхушечной части ленты перед очесывающим аппаратом свидетельствуют, что зона очеса ленты льна не остается постоянной и в реальных условиях является случайной, зависящей от условий уборки и динамических свойств уборочной машины.

$$B_L = B_a(t) + B_p(t) + l(t), \quad (11)$$

где B_L – зона очеса ленты льна, м;

$B_a(t)$ – ширина зоны очеса, обусловленная длиной зоны коробочек, м;

$B_p(t)$ – ширина зоны очеса, обусловленная растянутостью ленты, м;

$l(t)$ – колебания очеса, обусловленные высотой стеблей льна, м.

Чистота очеса аппаратов может быть выражена как функция удельного числа прочесов [1]:

$$W = f(Q), \quad (12)$$

где W – чистота очеса, %;

Q – удельное число прочесов, зуб/с.

Удельное число прочесов определяется из формулы:

$$Q = \frac{V_3 \cdot z \cdot z_3}{200 \cdot V_T \cdot \pi \cdot R} \quad (13)$$

где V_3 – скорость зубьев, м/с;

z – количество гребней на барабане, шт.;

z_3 – количество зубьев на гребне, шт.;

V_T – скорость теребильного аппарата, м/с;

R – радиус концов зубьев барабана, м.

Определив углы начала и окончания очеса, а также ширину зоны очеса, обусловленную длиной зоны коробочек $B_a(t)$, определим радиус очесывающего ротора [17]:

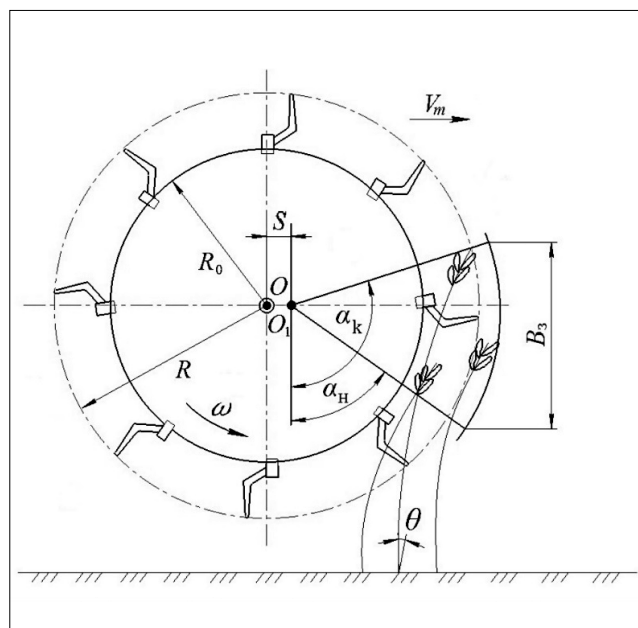


Рис. 4. Схема к определению радиуса очесывающего ротора: S – участок, на котором будет происходить очес, м; R_0 – радиус очесывающего ротора, м; R – радиус вершин очесывающих гребенок, м; B_3 – зона очеса, м; α_n – угол начала очеса, град.; α_k – угол окончания очеса, град.; θ – угол наклона стеблей от вертикали, град.; ω – угловая скорость, рад/с; V_m – поступательная скорость жатки, м/с

Fig. 4. The diagram for determining the stripping rotor radius: S – the area where stripping will take place, m; R_0 is the stripping rotor radius, m; R is the radius of the deseeding comb tops, m; B_3 – stripping area, m; α_n – the angle at the beginning of stripping, degrees; α_k – the angle at the end of the stripping, degrees; θ – the angle of the stem tilt from the vertical axis, degrees; ω – angular velocity, rad/s; V_m – forward speed of the header, m/s

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черников В.Г., Порфирьев С.Г., Ростовцев Р.А. Очесывающие аппараты льноуборочных машин. М.: ВИМ, 2004. 237 с.
2. Mankowski J., Maksymiuk W., Spychalski G., Kolodziej J., Kubacki A., Kupka D., Pudelko K. Research on New Technology of Fiber Flax Harvesting. *Journal of Natural Fibers*. 2018. Vol. 15. N1. 53-61.
3. Uschapovsky I. The Russian flax sector: bottlenecks and solutions. *Journal of Natural Fibers*. 2009. Vol. 6. N1. 108-113.
4. Черников В.Г., Ростовцев Р. А. Определение параметра интенсивности отрыва коробочек льна при работе очесывающего устройства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. Т. 11. N4. С. 20-23.
5. Ковалев М.М. Ресурсоэкономическая технология комбинированной уборки льна-долгунца // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2006. N1. С. 77-80.
6. Ковалев М.М., Научно-техническое обеспечение в комплексе мер по повышению эффективности льноводства // *Техника и оборудование для села*. 2007. N10. С 28-31.
7. Жалнин Э. В. Уборка с очесом на корню: за и против // *Сельский механизатор*. 2013. N8. С. 10-12.

$$R_0 = \frac{B_a(t)}{\cos \alpha_n + \sin \alpha_k}, \quad (14)$$

где $B_a(t)$ ширина зоны очеса, обусловленная длиной зоны коробочек, м;

R_0 – радиус очесывающего ротора, м.

Так как зерновой комбайн (жатка) имеет ширину захвата около 4 м, а льноуборочный комбайн – 1,52 м, то производительность уборки льна увеличится при одной и той же скорости в 2,6 раза. А поскольку зерновой комбайн может работать и на более высокой скорости, то производительность уборки может возрасти до 3 раз. Сокращается одна единица техники (ворохоразделовальная машина), так как эту технологическую операцию (переработку вороха) осуществляет зерновой комбайн в процессе уборки льна. Лабораторные испытания показали снижение потерь семян льна-долгунца на 10%, отход в путанину на 18% [18].

Выводы

1. Представили теоретическое обоснование параметров и режимов работы очесывающего аппарата для очеса льна-долгунца на корню. Предложили модель их определения на основе физико-механических свойств льна и агротехнических требований для его уборки. Данная технология позволит сократить потери семян льна и отход стеблей в путанину, непосредственный обмолот семян в поле снизит количество уборочной техники, численность персонала и себестоимость продукта.

2. Предложили технологическую схему для уборки льна на корню с помощью теребильно-очесывающего устройства, которое состоит из теребильного аппарата и серийной очесывающей жатки. Производительность уборки возрастет в результате увеличения ширины захвата рабочими органами.

8. Алдошин Н.В., Лылин Н.А., Мосяков М.А. Уборка зерновых культур методом очеса // *Дальневосточный аграрный вестник*. 2017. N41. С. 67-74.
9. Зинцов А.Н. Научные основы отделения семенной части урожая от стеблей при раздельной уборке льна-долгунца. Караваев: Костромская ГСХА. 2019. 118 с.
10. Ростовцев Р.А., Черников В.Г., Ушаповский И.В., Попов Р.А. Основные проблемы научного обеспечения льноводства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. N3. С. 45-52.
11. Ростовцев Р.А., Дмитриев В.И. Определение коэффициента трения стеблей о поверхность почвы // *Достижения науки и техники АПК*. 2006. N4. С. 16-18.
12. Жалнин Э.В., Табашников А.Т., Анисимов В.А. Сравнительная оценка очесывающих адаптеров различных конструкций: Монография. М.: ВИМ. 2003. 21 с.
13. Шило И.Н., Дашков В.Н. Ресурсосберегающие технологии сельскохозяйственного производства: Монография. Минск. 2003. 182 с.
14. Лурье А.Б. Статистическая динамика сельскохозяй-

ственных агрегатов. М.: Колос. 1981. 289 с.

15. Лурье А.Б., Черников В.Г., Озеров В.Г. Технологические основы автоматизации льноуборочных машин // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1974. №5. С. 24-25.

16. Marchenkov A., Rozhmina T., Uschapovsky I., Muir A.D. Cultivation of flax. In A.D. Muir and N.D. Westcott (eds). *Flax: the genus Linum*. London. New York: Routledge. 2003. 74-91.

17. Черников В.Г., Ростовцев Р.А., Татарниев К.В. Анализ взаимодействия стеблей льна с лопаткой монощелевого очесывающего аппарата // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2014. №4. С. 38-40.

18. Dudarev I. A Review of Fibre Flax Harvesting: Conditions, Technologies, Processes and Machines. *Journal of Natural Fibers*. 2020. December.

REFERENCES

1. Chernikov V.G., Porfir'ev S.G., Rostovtsev R.A. Ochesy-vayushchie apparaty l'nouborochnykh mashin [Comb deseed-ers of flax harvesters]. Moscow: VIM, 2004. 237 (In Russian).

2. Mankowski J., Maksymiuk W., Sychalski G., Kolodziej J., Kubacki A., Kupka D., Pudelko K. Research on New Technology of Fiber Flax Harvesting. *Journal of Natural Fibers*. 2018. Vol. 15. №1. 53-61 (In English).

3. Uschapovsky I. The Russian flax sector: bottlenecks and solutions. *Journal of Natural Fibers*. 2009. Vol. 6. №1. 108-113 (In English)

4. Chernikov V.G., Rostovtsev R.A. Opredelenie parametra intensivnosti otryva korobochek l'na pri rabote ochesyvayushchego ustroystva [Determination of parameter of intensity of flax balls separation during comb deseeding operation]. *Sel'skokozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017. Vol. 11. №4. 20-23 (In Russian).

5. Kovalev M.M. Resursoekonomicheskaya tekhnologiya kombinirovannoy uborki l'na-dolgutsa [Resource-saving technology of fiber flax combined harvesting]. *Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokozyaystvennykh nauk*. 2006. №1. 77-80 (In Russian).

6. Kovalev M.M., Nauchno-tekhnicheskoe obespechenie v komplekse mer po povysheniyu effektivnosti l'novodstva [Scientific and technological support within a range of measures to improve the flax growing efficiency]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2007. №10. 28-31 (In Russian).

7. Zhalnin E.V. Uborka s ochesom na kornyu: za i protiv [Harvesting with stripping in the field]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2013. №8. 10-12 (In Russian).

8. Aldoshin N.V., Lylin N.A., Mosyakov M.A. Uborka zernovykh kul'tur metodom ochesa [Harvesting of mixed grain crops with stripper header]. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik*. 2017. №41. 67-74 (In Russian).

9. Zintsov A.N. Nauchnye osnovy otdeleniya semennoy chasti urozhaya ot stebley pri razdel'noy uborke l'na-dolgutsa [Scientific fundamentals for the separation of the crop seed part from the stems during fiber flax separate harvesting]. Karavavo: Kostromskaya GSHA. 2019. 118 (In Russian).

10. Rostovtsev R.A., Chernikov V.G., Uschapovskiy I.V., Po-

pov R.A. Osnovnye problemy nauchnogo obespecheniya l'novodstva [The main problems of scientific support of flax growing]. *Sel'skokozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. №3. 45-52 (In Russian).

11. Rostovtsev R.A., Dmitriev V.I. Opredelenie koeffitsienta treniya stebley o poverkhnost' pochvy [Calculating the coefficient of friction between stems and the soil surface]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2006. №4. 16-18 (In Russian).

12. Zhalnin E.V., Tabashnikov A.T., Anisimov V.A. Sravnitel'naya otsenka ochesyvayushchikh adapterov razlichnykh konstruktsey [Comparative evaluation of combing adapters of various design types]. Monografiya. Moscow: VIM. 2003. 21 (In Russian).

13. Shilo I.N., Dashkov V.N. Resursosberegayushchie tekhnologii sel'skokozyaystvennogo proizvodstva [Resource-saving agricultural production technologies]. Monografiya. Minsk: 2003. 182 (In Russian).

14. Lur'e A.B. Statisticheskaya dinamika sel'skokozyaystvennykh agregatov [Statistical dynamics of agricultural aggregates]. Moscow: Kolos. 1981. 289 (In Russian).

15. Lur'e A.B., Chernikov V.G., Ozerov V.G. Tekhnologicheskie osnovy avtomatizatsii l'nouborochnykh mashin [Technological fundamentals of flax harvesting machine automation]. *Traktory i sel'skokozyaystvennyye mashiny*. 1974. №5. 24-25 (In Russian).

16. Marchenkov A., Rozhmina T., Uschapovsky I., Muir A.D. Cultivation of flax. In A.D. Muir and N.D. Westcott (eds). *Flax: the genus Linum*. London. New York: Routledge. 2003. 74-91 (In English).

17. Chernikov V.G., Rostovtsev R.A., Tatarnitsev K.V. Analiz vzaimodeystviya stebley l'na s lopatkoy monoshchelevogo ochesyvayushchego apparata [Analysis of the interaction of flax stems with a single-slot stripper blade]. *Traktory i sel'skokozyaystvennyye mashiny*. 2014. №4. 38-40 (In Russian).

18. Dudarev I. A Review of Fibre Flax Harvesting: Conditions, Technologies, Processes and Machines. *Journal of Natural Fibers*. 2020. December (In English).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 02.01.2021
The paper was submitted
to the Editorial Office on 02.01.2021

Статья принята к публикации 19.05.2021
The paper was accepted
for publication on 19.05.2021

Возможность получения длинного волокна из тресты масличного льна на различном технологическом оборудовании

Евгения Николаевна Королева,

старший научный сотрудник,

e-mail: e.koroleva@fncl.ru;

Эдуард Валерьевич Новиков,

кандидат технических наук, ведущий научный

сотрудник, e-mail: edikl@kmtn.ru;

Александр Владиславович Безбабченко,

старший научный сотрудник,

e-mail: fnc_lk44@mail.ru

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

Реферат. Показали, что короткое волокно масличного льна обычно получают из спутанной массы поломанных стеблей. Однако в последнее время поднимается вопрос о возможности переработки в длинное волокно целых стеблей, оставшихся после уборки семян. *(Цель исследования)* Изучить возможность получения длинного волокна из стеблей масличного льна на различном технологическом оборудовании с обоснованием характеристик волокна. *(Материалы и методы)* Взяли целые стебли различного качества шести разных сортов масличного льна. Образцы перерабатывали на станке СМТ-500 и в мяльно-трепальном агрегате марки АЛС-1, после чего определяли показатели качества длинного волокна. *(Результаты и обсуждение)* Выявили, что большинство показателей качества тресты масличного льна соответствуют характеристикам тресты льна-долгунца, но прочность волокна имеет недопустимо низкие значения. Номер льнотресты из льна масличного не превышает 0,5, а выход длинного волокна изменяется от 0,4 до 11,0 процентов, что гораздо ниже, чем из льна-долгунца, то есть основная часть волокна выпадает в отходы. Определили, что на станке СМТ-500 невозможно получить длинное волокно даже самого низкого номера из-за малого значения горстевой длины, а после агрегата АЛС-1 номер длинного волокна не выше 8. В ходе анализа отдельных характеристик длинного волокна из масличного льна определили, что в сравнении со льном-долгунцом это волокно более толстое, менее прочное и гибкое. *(Выводы)* Доказали, что из целых стеблей льнотресты льна масличного можно получить длинное волокно, но низкого качества. Определили, что в длинное волокно могут быть переработаны до 67 процентов сортов льнотресты. Из рассмотренных типов льнотресты масличного льна выявили наилучший по качеству – сорт ЛМ-98 и наихудшие – Бирюза и Ручеек.

Ключевые слова: масличный лен, станок СМТ-500, агрегат АЛС-1, качество льнотресты, выход длинного волокна, номер льняного волокна.

Для цитирования: Королева Е.Н., Новиков Э.В., Безбабченко А.В. Возможность получения длинного волокна из тресты масличного льна на различном технологическом оборудовании // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. №2. С. 19-25. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-19-25.

Possibility of Obtaining Long Fiber from Oilseed Flax Trusts Using Various Technological Equipment

Evgeniya N. Koroleva,

senior researcher, e-mail: e.koroleva@fncl.ru;

Eduard V. Novikov,

Ph.D.(Eng.), leading researcher, e-mail: edikl@kmtn.ru;

Alexander V. Bezbabchenko,

senior researcher,

e-mail: fnc_lk44@mail.ru

Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russian Federation

Abstract. The authors showed that the short fiber of oilseed flax was usually obtained from a tangled mass of broken stems. However, recently, the question of the processing possibility of the culture whole stems left after harvesting into long fiber was raised. *(Research purpose)* To study the possibility of obtaining long fiber from oil flax stems on various technological equipment with the substantiation of the fiber characteristics. *(Materials and methods)* Whole oil flax stems of various qualities of six different varieties were taken. The samples were processed on an SMT-500 machine and in an ALS-1 crumpling and scutching machine, after which the quality parameters of the long fiber were determined. *(Results and discussion)* The authors found that

most of the quality indicators of oil flax trusts corresponded to the fiber flax trusts characteristics, but the fiber strength had unacceptably low values. The number of flax stems from oil flax did not exceed 0.5, and the yield of long fiber varied from 0.4 to 11 percent, which was much lower than from fiber flax, so the fiber bulk fell into waste. It was determined that on the SMT-500 machine it was impossible to obtain a long fiber of even the lowest number due to the small value of the gristle length, and after the ALS-1 machine, the number of the long fiber was not higher than 8. During the analysis of individual characteristics of the long fiber from oilseed flax, it was determined that oil flax fiber was thicker, less strong and flexible in comparison with fiber flax. (*Conclusions*) The authors proved that long fiber could be obtained from flax whole stems, but of poor quality. They determined that up to 67 percent of flax varieties could be processed into long fiber. Of the flax types considered, oilseed flax seeds revealed the best quality-grade LM-98 and the worst – Biryuzha and Rucheek.

Keywords: oil flax, SMT-500 machine, ALS-1 machine, flax quality, long fiber yield, number of flax fiber.

For citation: Koroleva E.N., Novikov E.V., Bezbabchenko A.V. Vozmozhnost' polucheniya dlinnogo volokna iz tresty maslichnogo l'na na razlichnom tekhnologicheskom oborudovanii [Possibility of obtaining long fiber from oilseed flax trusts using various technological equipment]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N2. 19-25 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-19-25.

Планы экономического развития Российской Федерации предполагают увеличение спроса на натуральные волокна [1].

Лен масличный – ценная сельскохозяйственная культура многоцелевого использования. Из него получают масло и растительный белок [2]. В стеблях содержится волокно, которое используют для изготовления грубых тканей, высоких сортов бумаги и других целей [3-5].

В льноводческих странах все больше внимания уделяют использованию стеблевой части льна масличного, так как она, как и у льна-долгунца, включает целлюлозное волокно [6, 7].

В странах дальнего зарубежья расширяется интерес к переработке этого вида льна в льноволокно и получению изделий из него, например, композитных материалов, рынок которых расширяется [8-10].

В России растет производство масличного льна. Однако его волокно обычно не используют. Как правило, после уборки семян стебли уничтожают [11].

Для производства волокна обычно используют сырье масличного льна в виде спутанной массы полуманных стеблей, из которого можно получить только короткое волокно [12]. В то же время становится актуальным вопрос о возможности переработки масличного льна в длинное волокно – трепанный лен. Интерес к этой переработке возник неслучайно, так как техническая длина стеблей превышает 60 см при содержании волокна в тресте 19-24% и отделяемости 4-8 ед. [13-15]. Эти характеристики, наряду с диаметром стеблей, прочностью волокна в них, нередко соответствуют стандартам на тресту льняную (ГОСТ 2975-73, ГОСТ Р 53143-2008, ГОСТ 24383-89).

При низкой себестоимости тресты льна масличного, а значит, низкой ее цене в сравнении с трестой льна-долгунца (примерно в 5-10 раз), возможно получить из нее рентабельное волокно [16]. Часть сортов, созданных ранее, не могут быть переработаны в длин-

ное волокно [17]. Но за последние 20 лет выведены перспективные сорта льна масличного с общей длиной стеблей 64-84 см [18, 19]. В отличие от льна-долгунца, в научной литературе не представлены какие-либо результаты исследований по переработке масличного льна в длинное волокно, а также отсутствуют значения его характеристик.

Остается неизученным вопрос о получении длинного волокна из тресты льна масличного, стебли которых могут быть длиннее и содержать больше волокна.

Цель исследования – изучить возможность получения длинного волокна из стеблей масличного льна на различном технологическом оборудовании с обоснованием характеристик волокна.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- перед первичной переработкой инструментальными и технологическими методами исследовать показатели качества сырья – льнотресты из целых стеблей масличного льна различных сортов;

- провести первичную переработку льнотресты на лабораторном станке СМТ-500 (аналоге промышленной машины МТОФ-1), который включен в национальный стандарт на тресту льняную, а также на промышленном малогабаритном мяльно-трепальном агрегате марки АЛС-1 [20];

- исследовать выход длинного волокна и значения показателей его качества;

- проанализировать результаты и сделать выводы для практического использования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Для исследования взяли шесть сортов льна масличного в целых стеблях различного качества в виде снопов урожая 2019 г. Стебли были вытереблены вручную, прошли росную мочку, по внешнему виду соответствовали признакам льнотресты и имели серый цвет. Все образцы льнотресты перед первичной переработкой были обозначены типами, каждый из которых соответствовал определен-

ному сорту: тип 1 – ЛМ-98; 2 – Нилин; 3 – Флиз; 4 – ВНИИМК-620; 5 – Бирюза; тип 6 – Ручеек. Типы льнотресты 1, 2, 3, 5 и соответствующие им сорта относятся к современным.

Показатели качества исходной льнотресты определяли по ГОСТ Р 53143-2008, ГОСТ 24383-89 и ГОСТ 2975-73. Далее из каждого типа льнотресты отобрали по 20 горстей. Затем разделили на две группы по 10 горстей, одна группа предназначалась для обработки на станке СМТ-500 со стандартными параметрами (рис. 1). Другая группа прошла через мяльно-трепальный агрегат марки АЛС-1 при частоте вращения трепальных барабанов 250 об/мин и скорости перемещения льнотресты в трепальной части 20 м/мин [20].

Переработка в обеих машинах велась по одной горсти, которые сначала выравнивали по комлям, а затем вручную подавали в мяльную и трепальную части, в первую часть стебли направляли перпендикулярно оси мяльных валцов.

После первичной обработки льнотресты в СМТ-500 и АЛС-1 определяли выход длинного волокна и его номер по ГОСТ 10330-76 «Лен трепаный» (изменение № 4) и по ГОСТ Р 53484-2009 «Лен трепаный» по пп. 6.1.4.2., 6.1.4.3 и 6.2.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Большинство показателей качества исходной тресты льна масличного соответствуют характеристикам льна-долгунца (рис. 1а и б, 2а и б). Однако прочность волокна у 83% всех типов льнотресты, кроме сорта ЛМ-98, имеет недопустимое по стандарту значение – менее 3,1 кгс (табл. 1). Это указывает на низкое качество льнотресты, из нее нельзя получить длинное волокно для дальнейшего производства из него высокосортной пряжи.



Рис. 1. Вид сырья и волокна при переработке в СМТ-500: а – горсти тресты; б – горсти на питающем транспортере; с – длинное волокно из тресты типов 5 и 6; d – длинное волокно из тресты 1-4

Fig. 1. Raw material and fiber during processing in SMT-500: a – handful of trusts; b – handfuls on the feed conveyor; c – the long fiber of the trusts type 5 and 6; d – long fiber of trusts 1-4



Рис. 2. Вид сырья и волокна при переработке в агрегате АЛС-1: а – горсти тресты; б – промятая льнотреста перед подачей в трепальную часть; с – длинное волокно; d – отходы трепания

Fig. 2. Materials and fibers in the processing of the unit ALS-1: a – handful of the trust; b – a dented the flax before submitting to scutching section; c – the long fiber; d – waste scutching

По стандарту на тресту льна-долгунца номер льнотресты у всех рассматриваемых типов не превышает 0,5 (табл. 2). Это подтверждает предыдущий вывод.

Выход длинного волокна на станке СМТ-500 изменяется от 6 до 11% (рис. 1с, 1d; табл. 3). В АЛС-1 этот показатель варьируется от 0,4 до 11% (рис. 2с, табл. 4). Для сравнения, при тех же условиях переработки тресты льна-долгунца выход длинного волокна в СМТ-500 и АЛС-1 составляет 20-39% [10-12]. В итоге из-за низкого качества основная часть волокна выпадает в отходы трепания (рис. 2d).

У шести типов льнотресты выход волокна на СМТ-500 выше, в среднем на 6,1% (абс.) в сравнении с АЛС-1, это различие варьируется от 1,2 до 8,3% (абс.);

На станке СМТ-500 невозможно получить длинное волокно даже самого низкого номера вследствие малого значения горстевой длины (табл. 3). Она не должна быть ниже 41 см, а после агрегата АЛС-1 номер длинного волокна не выше 8 (табл. 4).

Дисперсионный анализ экспериментальных данных показал, что при доверительной вероятности 0,95 на выход длинного волокна оказывают влияние различные способы первичной переработки в СМТ-500 и АЛС-1. Это влияние составляет 51%.

Горстевая длина после АЛС-1 больше, чем после СМТ-500, на 16 см, что является статистически значимым отличием (табл. 3 и 4).

Гибкость изменяется в пределах 17-26 мм в СМТ-500 и 18-25 мм – в АЛС-1, что говорит незначительной зависимости от способа переработки. Но волокно менее гибкое по сравнению со льном-долгунцом [20].

Разрывная нагрузка после АЛС-1 выше, чем после

Таблица 1		Table 1				
Качество исходной льнотресты льна масличного урожая QUALITY INDICATORS OF THE ORIGINAL FLAX TRUST OF THE OIL FLAX CROP						
Показатели Indicators	Типы тресты / Trusts types					
	1	2	3	4	5	6
Горстевая длина стеблей, см Handful stem length, cm	71	64	69	90	73	63
Содержание волокна, % Fiber content, %	23	22	22	19	22	19
Отделяемость волокна от древесины, ед. Fiber separability from wood, units	7,3	8,5	8,3	7,6	7,7	7,8
Прочность волокна в стеблях, кгс The fibers strength in the stems, kgf	7	1	1	2	0	0

Таблица 2		Table 2				
Качество льнотресты масличного льна в стеблях Quality indicators of flax trust of oil flax in stems						
Показатели Indicators	Типы тресты / Trusts types					
	1	2	3	4	5	6
Выход волокна в CMT-500, % Fiber output in SMT-500, %	10	11	10	11	6	9
Группа цвета Color group	I	I	I	I	I	I
Номер льнотресты Flax trust number	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Таблица 3		Table 3				
Качество длинного волокна, полученного на станке CMT-500 QUALITY INDICATORS OF LONG FIBER OBTAINED ON THE SMT-500 MACHINE						
Показатели Indicators	Типы тресты / Trusts types					
	1	2	3	4	5	6
Горстевая длина, см Handful length, cm	39	36	32	39	25	26
Гибкость, мм Flexibility, mm	25	21	16	26	17	17
Коэффициент вариации по гибкости, % Coefficient of variation in terms of flexibility, %	27	22	26	25	23	28
Разрывная нагрузка, даН Breaking load, daN (decaNewton)	11	10	9	12	8	8
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, % Coefficient of variation in breaking load, %	25	19	12	26	27	20
Содержание недоработки, % Content of defects, %	1	0	0	0	1	0
Массовая доля костры, % Mass fraction of chaff, %	5	2	6	2	3	12
Группа цвета Color group	I	I	I	I	I	I
Линейная плотность, текс Linear density, tex	19	17	19	18	18	17
Номер трепаного льна (длинного волокна)* Number of frayed flax (long fiber)	—	—	—	—	—	—
* Определить невозможно из-за низкой горстевой длины волокна, которая по стандарту не должна быть менее 41 см * Cannot be determined due to the low handful length of the fiber, which according to the standard should not be less than 41 cm						

СМТ-500, в среднем на 6 даН. Это статистически значимое отличие. Но в сравнении с волокном льна-долгунца оно менее прочное [20].

Линейная плотность длинного волокна изменяется от 17 до 20 текс, что гораздо выше, чем у волокна

льна-долгунца [20]. Волокно масличного льна более толстое.

После СМТ-500 волокно более неоднородное по разрывной нагрузке, после АЛС-1 – по гибкости, что следует из значений коэффициентов вариации.

Таблица 4

Table 4

КАЧЕСТВО ДЛИННОГО ВОЛОКНА, ПОЛУЧЕННОГО В АГРЕГАТЕ АЛС-1
QUALITY INDICATORS OF THE LONG FIBER OBTAINED IN THE ALS-1 MACHINE

Показатели Indicators	Типы тресты / Trusts types					
	1	2	3	4	5*	6*
Выход длинного волокна, % Long fiber output, %	11	4	3	4	0,4	0,5
Горстевая длина, см Handful length, cm	53	48	48	46	—	—
Гибкость, мм Flexibility, mm	25	18	19	21	—	—
Коэффициент вариации по гибкости, % The coefficient of variation in terms of flexibility, %	40	38	38	34	—	—
Разрывная нагрузка волокна, даН Breaking load, daN (decaNewton)	15	16	15	17	—	—
Коэффициент вариации по разрывной нагрузке, % Coefficient of variation in breaking load, %	19	11	27	14	—	—
Содержание недоработки, % Content of defects, %	5	1	0	0	—	—
Массовая доля костры, % Mass fraction of chaff, %	2	1	1	1	—	—
Группа цвета Color group	1	1	1	1	—	—
Линейная плотность, текс Linear density, tex	20	20	18	19	—	—
Номер трепаного льна (длинного волокна) The number of frayed flax (long fiber)	8	8	8	8	—	—

* Качество определить невозможно из-за низкого выхода волокна в образцах (недостаточно волокна для анализа)

* The quality of the fiber cannot be determined due to the low fiber yield in the samples – not enough fiber for analysis

Массовая доля костры в волокне после СМТ-500 выше в среднем на 4% (абс), что является статистически значимым значением.

Доля недоработки в СМТ-500 и АЛС-1 практически не различается и в основном не превышает 1% в обеих машинах.

Выводы. Впервые изучили возможность получения длинного волокна из тресты масличного льна на лабораторном мяльно-трепальном станке СМТ-500 (аналог промышленной машины МТОФ-1) и малогабаритном промышленном мяльно-трепальном агрегате АЛС-1.

Показали, что получение длинного волокна из льнотресты льна масличного возможно, но его максимальный выход не превышает 11%. Независимо от сорта культуры на станке СМТ-500 невозможно получить длинное волокно, которое соответствовало бы даже самому низкому номеру.

Получить длинное волокно в агрегате АЛС-1 возможно. Но оно будет низкого качества: номером не более 8, с выходом волокна не выше 11% (в среднем 4%). При этом из всех типов льнотресты (сортов) до 67% могут быть переработаны в длинное волокно.

Следует предположить, что первичная переработка масличного льна в длинное волокно на других мяльно-трепальных агрегатах, например в МТА-2Л или ему подобных, нецелесообразна, так как выход волокна в них будет еще ниже, чем в агрегате АЛС-1, а так-

же из-за того, что потребление трепаного льна номера 8 текстильной промышленностью минимальное.

Впервые определили и проанализировали значения показателей качества длинного волокна из льна масличного в зависимости от способа первичной переработки. Выявили, что наиболее различаются такие характеристики, как выход длинного волокна, горстевая длина, разрывная нагрузка. Длинное волокно масличного льна менее прочное и гибкое, более толстое, чем волокно из льна-долгунца.

Из рассмотренных современных сортов масличного льна наилучшим по значениям показателей качества льнотресты и длинного волокна стал сорт ЛМ-98, наихудшая льнотреста у сортов Бирюза и Ручеек.

Впервые получили технологические данные, которые можно использовать в технико-экономических обоснованиях первичной переработки льна масличного.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (№ 0477-2019-0005).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ростовцев Р.А., Черников В.Г., Ущачовский И.В., Попов Р.А. Основные проблемы научного обеспечения льноводства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. N3. С. 45-52.
2. Семеренко С.А., Курилова Д.А. Инкрустация семян льна масличного как способ защиты всходов от вредных организмов в условиях центральной зоны Краснодарского края // *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур*. 2017. N4(172). С. 125-133.
3. Гореева В.Н., Кошкина К. В. Масличный лен – перспективная культура для Среднего Предуралья // *Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии*. 2011. N4(29). С. 8-9.
4. Першаков А.Ю., Белкина Р.И. Лен масличный – элементы технологии и сорта // *АПК: инновационные технологии*. 2018. N1. С. 45-50.
5. Головенко Т.М., Бойко Г.А., Иваненко О.О., Шовкомуд О.В. Загальна характеристика показників льону олійного з метою виготовлення інноваційних товарів // *Молодий вчений*. 2016. N5(32). С. 218-222.
6. Головенко Т.Н., Бойко Г.А., Дягилев А.С., Шовкомуд А.В. Промышленное использование соломы льна масличного, как в мире, так и в Украине // *Молодий вчений*. 2017. N1(41). С. 37-39.
7. Тараймович И.В. Особенности технологии уборки льна масличного в условиях Западного Полесья Украины // *Современная техника и технологии*. 2013. N6. С. 28-34.
8. Haag K., Padovan J., Fita S., Trouvé J.-P., Pineau Ch., Hawkins S., De H., Michael J., Deyholos K., Chabbert B., Müssig J., Beaugrand J. Influence of flax fibre variety and year-to-year variability on composite properties. *Industrial Crops and Products*. 2017. N98. 1-9.
9. Bazan P., Mierzwiński D., Bogucki R., Kucie S. Bio-Based Polyethylene Composites with Natural Fiber. *Mechanical, Thermal, and Ageing Properties*. 2020. N13(11). 8-11.
10. Sarwar A., Mahboob Z., Zdero R., Bougherara H. Mechanical characterization of a new Kevlar/Flax/epoxy hybrid composite in a sandwich structure. *Polymer Testing*. 2020. N90. 25-26.
11. Пучков Е.М., Безбабченко А.В., Новиков Э.В. Перспективные малозатратные технологии переработки соломы и тресты льна масличного // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2016. N4. С. 58-62.
12. Федосова Н.М. Разработка критерия оценки эффективности процесса получения однотипного волокнистого материала // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. 2016. N5(366). С. 84-88.
13. Пашин Е.Л., Федосова Н.М. Технологическое качество и переработка льна-межеумка. Кострома: ВНИИЛК. 2003. С. 88.
14. Хрикиян С.А. Эффективность выращивания льна масличного в современных условиях // *Молодой ученый*. 2017. N1. С. 281-284.
15. Бойко Г.А., Уханова О.А. Визначення придатності волокон льону олійного різних сортів до прядіння // *Вісник херсонського національного технічного університету*. 2016. N2(57). С. 97-101.
16. Чирик Д.П., Анохина Т.А., Стапанова Н.В. Лен масличный в Беларуси – перспективы очевидны // *Наше сельское хозяйство*. 2016. N19. С. 21-23.
17. Федосова Н.М., Вихарев С.М., Соколов А.С. Совершенствование методов оценки технологического качества льна и приемов его переработки. Кострома: Костром. гос. техн. ун-т. 2013. С. 83.
18. Брач Н.Б., Пороховинова Е.А., Шеленга Т.В. Перспективы создания сортов масличного льна специализированного назначения // *Аграрный вестник Юго-востока*. 2016. N1-2(14-15). С. 50-52.
19. Рожмина Т.А., Жученко А.А., Понажев В.П., Кузмин И.А. Специализированные сорта и инновационные приемы производства масличного льна // *Аграрный вестник Юго-востока*. 2016. N1-2(14-15). С. 56-59.
20. Королева Е.Н., Новиков Э.В., Хаитов Н.Х., Безбабченко А.В. Влияние способов переработки льнотресты на выход и качество трепаного льна // *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур*. 2019. Вып. 3(179). С. 68-72.

REFERENCES

1. 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).
2. Semerenko S.A., Kurilov D.A. Inkrustatsiya semyan l'na maslichnogo kak sposob zashchity vskhodov ot vrednykh organizmov v usloviyakh centralnoy zony Krasnodarskogo kraya. [Inlay of oilseed flax seeds as a way to protect seedlings from harmful organisms in the conditions of the central zone of the Krasnodar Territory]. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskii byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur*. 2017. N4(172). 125–133 (In Russian).
3. Goreeva V.N., Koshkina K.V. Maslichnyy len – perspektivnaya kul'tura dlya Srednego Predural'ya [Oilseed flax – a promising crop for the Middle Urals]. *Vestnik Izhevskoy gosudarstvennoy sel'skohozyaystvennoy akademii*. 2011. N4(29). 8-9 (In Russian).
4. Pershakov A.Yu., Belkina R.I. Len maslichnyy – elementy tekhnologii i sorta [Oilseed flax – elements of technology and varieties]. *APK: innovatsionnye tekhnologii*. 2018. N1. 45-50 (In Russian).
5. Holovenko T.M., Boyko H.A., Ivanenko O.O., Shovkomud O.V. Zahalna kharakterystyka pokaznykiv lonu oliinoho z metoiu vyhotovlennia innovatsiinykh tovariv [General characteristics of indicators of oilseed flax for the production of innovative

goods]. *Molodyi vchenyi*. 2016. N5(32). 218-222 (In Ukrainian).

6. Golovenko T.N., Boyko G.A., Dyagilev A.S., Shovkomud A.V. Promyshlennoe ispol'zovanie solomy l'na maslichnogo, kak v mire, tak i v Ukraine [Industrial use of oilseed flax straw, both in the world and in Ukraine]. *Molodoy uchenyy*. 2017. N1(41). 37-39 (In Russian).

7. Taraymovich I.V. Osobennosti tekhnologii uborki l'na maslichnogo v usloviyah Zapadnogo Poles'ya Ukrainy [Features of the technology of harvesting oilseed flax in the conditions of the Western Polesie of Ukraine]. *Sovremennaya tekhnika i tekhnologii*. 2013. N6. 28-34 (In Russian).

8. Katharina Haag, Justine Padovan, Sergio Fita, Jean-Paul Trouvé, Christophe Pineau, Simon Hawkins, Hein De, Jong Michael K. Deyholos, Brigitte Chabbert, Jörg Müssig, Johnny Beaugrand Influence of flax fibre variety and year-to-year variability on composite properties. *Industrial Crops and Products*. 2017. N98. 1-9 (In English).

9. Patrycja Bazan, Dariusz Mierzwiński, Rafal Bogucki, Stanislaw Kucie Bio-Based Polyethylene Composites with Natural Fiber. *Mechanical, Thermal, and Ageing Properties*. 2020. N13(11). 8-11 (In English).

10. Ahmed Sarwar, Ziauddin Mahboob, Radovan Zdero, Habiba Bougherara Mechanical characterization of a new Kevlar/Flax/epoxy hybrid composite in a sandwich structure. *Polymer Testing*. 2020. N90. 25-26 (In English).

11. Puchkov E.M., Bezbabchenko A.V., Novikov E.V. Perspektivnye malozatratnye tekhnologii pererabotki solomy i tresty l'na maslichnogo [Promising low-cost technologies for processing straw and oilseed flax trusts]. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. 2016. N4. 58-62 (In Russian).

12. Fedosova N.M. Razrabotka kriteriya otsenki effektivnosti processa polucheniya odnotipnogo voloknistogo materiala [Development of criteria for evaluating the effectiveness of the process of obtaining the same type of fibrous material]. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*. 2016. N5 (366). 84-88 (In Russian).

13. Pashin E.L., Fedosova N.M. Tekhnologicheskoe kachestvo i pererabotka l'na-mezheumka [Technological quality and

flax processing of majewska]. Kostroma: VNIILK, 2003. 88 (In Russian).

14. Khrikyan S.A. Effektivnost' vyrashchivaniya l'na maslichnogo v sovremennykh usloviyakh [The efficiency of the cultivation of oil flax in modern conditions]. *Molodoy uchenyy*. 2017. N1. 281-284 (In Russian).

15. Boyko H.A., Ukhanova O.A. Vyznachennia prydatnosti volokon lonu oliinoho riznykh sortiv do priadinnia [Determination of the suitability of oilseed flax fibers of various varieties for spinning]. *Visnyk khersonskoho natsionalnoho tekhnichnogo universytetu*. 2016. N2(57). 97-101 (In Ukrainian).

16. Chirik D.P., Anohina T.A., Stapanova N.V. Len maslichnyy v Belarusi – perspektivy ochevidny [Oilseed flax in Belarus – prospects are obvious]. *Nashe sel'skoe hozyaystvo*. 2016. N19. 21-23 (In Russian).

17. Fedosova N.M., Viharev S.M., Sokolov A.S. Sovershenstvovanie metodov otsenki tekhnologicheskogo kachestva l'na i priemov ego pererabotki [Improvement of methods for assessing the technological quality of flax and methods of its processing]. Kostroma: Izd-vo Konstr. gos. tekhnol. un-t. 2013. 83 (In Russian).

18. Brach N.B., Porokhovinova E.A., Shelenga T.V. Perspektivy sozdaniya sortov maslichnogo l'na specializirovannogo naznacheniya [Prospects for the creation of specialized oil flax varieties]. *Agrarnyy vestnik Yugo-vostoka*. 2016. N1-2(14-15). 50-52 (In Russian).

19. Rozhmina T.A., Zhuchenko A.A., Ponazhev V.P., Kuzemkin I.A. Spetsializirovannye sorta i innovatsionnye priemy proizvodstva maslichnogo l'na [Specialized varieties and innovative techniques for the production of oil flax]. *Agrarnyy vestnik Yugo-vostoka*. 2016. N1-2(14-15). 56-59 (In Russian).

20. Koroleva E.N., Novikov E.V., Khaitov N.Kh., Bezbabchenko A.V. Vliyanie sposobov pererabotki l'notresty na vykhod i kachestvo trepanogo l'na [Influence of flax processing methods on the yield and quality of flaked flax]. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tekhnicheskiy byulleten' Vserossiyskogo nauchno-isledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur*. 2019. Iss. 3(179). 68-72 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 16.02.2021
The paper was submitted
to the Editorial Office on 16.02.2021

Статья принята к публикации 09.04.2021
The paper was accepted
for publication on 09.04.2021

Силовая установка для мобильного транспортного средства класса 0,6-0,8 на базе тракторного самоходного шасси Т-16

Валентин Александрович Гусаров,
доктор технических наук, главный научный
сотрудник, e-mail: cosinys50@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Показали необходимость разработки заднеприводного гибридного мобильного транспортного средства сельскохозяйственного назначения с электроприводом и силовой энергетической установкой. (*Цель исследования*) Разработать и исследовать новую кинематическую схему мобильного транспортного средства на базе тракторного самоходного шасси Т-16, обеспечивающую повышенную надежность, комфортные условия труда оператора, значительное улучшение экологической обстановки, а также экономическую эффективность. (*Материалы и методы*) Перечислили преимущества новой кинематической схемы гибридного транспортного средства. Привели сравнительные технические характеристики дизельного двигателя и асинхронного электродвигателя. Разработали новую методику расчета технических параметров газотурбинного двигателя. Описали процесс производства электропривода мощностью 11 киловатт для привода ведущих колес. Привели тепловой расчет параметров компрессора, турбины. Вычислили коэффициент избытка воздуха. По полученным параметрам выбрали турбокомпрессор К27-145, который одновременно служит турбиной и компрессором газотурбинного двигателя. Создали кинематическую схему с газотурбинным электрогенератором, аккумуляторными батареями, асинхронным двигателем частотного управления и механической коробкой переключения передач. (*Результаты и обсуждение*) Предложили использовать мобильное транспортное средство как передвижную электростанцию: выходная розетка с напряжением 220-230 вольт работает от инвертора, подключенного к аккумуляторным батареям; вторая розетка – с трехфазным напряжением 400 вольт – от генератора силовой газотурбинной установки. (*Выводы*) Доказали, что предложенная конструкция гибридного мобильного транспортного средства на аккумуляторной батарее и газовой турбине способна работать в течение всего рабочего дня, а для обеспечения мощности 16 лошадиных сил дизельного двигателя достаточно установить асинхронный электродвигатель мощностью 7,5 киловатт. Рассчитали производительность компрессора газотурбинного двигателя, которая составила 0,178 килограмма в секунду. Определили геометрические параметры камеры сгорания и техническую характеристику турбокомпрессора.

Ключевые слова: гибридное мобильное транспортное средство, аккумуляторная батарея, силовая установка, газотурбинная установка, асинхронный электродвигатель, электрогенератор.

■ **Для цитирования:** Гусаров В.А. Силовая установка для мобильного транспортного средства класса 0,6-0,8 на базе тракторного самоходного шасси Т-16 // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. №2. С. 26-32. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-26-32.

Power Plant for a 0.6-0.8 Class Mobile Vehicle Based on the T-16 Self-Propelled Tractor Chassis

Valentin A. Gusarov,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher,
e-mail: cosinys50@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The authors showed the necessity to develop a rear-wheel drive hybrid mobile agricultural vehicle with electric drive and power plant. (*Research purpose*) To develop and study a new kinematic scheme of a mobile vehicle based on a self-propelled tractor T-16 chassis, which provides increased reliability, comfortable working conditions for the operator, a significant improvement in the environmental situation, and better economic efficiency. (*Materials and methods*) The authors listed the advantages of the new hybrid vehicle kinematic scheme. They gave the comparative technical characteristics of a diesel engine and an asynchronous electric motor. They developed a new methodology

for calculating gas turbine engine technical parameters and described the production process of an electric drive with a capacity of 11 kilowatts to drive the driving wheels. The authors gave a thermal design of the compressor parameters, turbine. They calculated the excess air ratio. According to the parameters obtained, a K27-145 turbocharger was chosen, which simultaneously served as a turbine and a compressor of a gas turbine engine. A kinematic diagram was created with a gas turbine electric generator, storage batteries, an asynchronous frequency-controlled motor and a mechanical gearbox. (*Results and discussion*) The authors proposed to use a mobile vehicle as a mobile power plant: an output socket with a voltage of 220-230 volts operated from an inverter connected to batteries; the second socket – with a three-phase voltage of 400 volts – from the generator of the power gas turbine plant. (*Conclusions*) It was proved that the proposed hybrid mobile vehicle design on a battery and a gas turbine was capable of operating throughout the entire working day, and to provide 16 horsepower of a diesel engine, it was enough to install an asynchronous electric motor with a capacity of 7.5 kilowatts. The authors calculated the compressor performance of the gas turbine engine, which was 0.178 kilograms per second. The geometric parameters of the combustion chamber and the technical characteristics of the turbocharger were determined.

Keywords: hybrid mobile vehicle, storage battery, power plant, gas turbine plant, asynchronous electric motor, electric generator.

For citation: Gusarov V.A. Silovaya ustanovka dlya mobil'nogo transportnogo sredstva klassa 0.6-0.8 na baze traktornogo samokhodnogo shassi T-16 [Power plant for a 0.6-0.8 class mobile vehicle based on the T-16 self-propelled tractor chassis]. *Sel'skokhozyaistvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N2. 26-32 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-26-32.

Транспортным средствам, работающим на электроэнергии, в мире уделяют все большее внимание [1]. Электромобили имеют преимущества перед традиционными поршневыми машинами вследствие пониженного уровня шума, вибрации, выхлопных газов. Они более просты по конструкции и значительно проще в эксплуатации [2].

Цель исследования – разработать и исследовать новую кинематическую схему мобильного транспортного средства на базе тракторного самоходного шасси Т-16, обеспечивающую повышенную надежность, комфортные условия труда оператора, значительное улучшение экологической обстановки, а также экономическую эффективность.

Разрабатываемое мобильное транспортное средство (МТС) с электромеханической трансмиссией предназначено для выполнения транспортных и сельскохозяйственных технологических операций без высоких тяговых нагрузок. Его можно использовать как на открытых территориях, так и в закрытых помещениях [3, 4].

МТС с заднеприводными колесами – это гибридный мобильный транспорт, так как использует два вида энергии: электрическую тягу и жидкое топливо. Соответственно, оно имеет два заправочных устройства: электрическую розетку и горловину для заливки углеводородного топлива.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Для исследований использовали экспериментальное тракторное самоходное шасси Т-16, на котором предварительно демонтировали: двигатель мощностью 11 кВт (16 л.с.), воздухоочиститель, сцепление, глушитель – общим весом 360 кг.

При модернизации в качестве привода установили асинхронный электродвигатель (АД) АИР 132 М4

мощностью 11 кВт, с номинальным крутящим моментом 72,7 Нм, имеющий примерно равные характеристики со штатным двигателем Д-21. Электродвигатель крепится на коробку переключения передач (КПП) через узел сопряжения и картер сцепления (рис. 1). Крутящий момент передается через подвижную муфту.



Рис. 1. Узел сопряжения коробки переключения передач и электродвигателя на экспериментальном образце тракторного самоходного шасси Т-16

Fig. 1. Coupling unit of the gearbox and the electric motor on the experimental model of the T-16 self-propelled tractor chassis

Большую часть времени предполагается работать на аккумуляторных батареях (АБ), а в случае их разряда МТС переходит на работу от силовой энергетической установки.

Первичным источником энергии служат АБ с максимальным напряжением 540 В. Аккумуляторы и коммутирующие устройства находятся во влагозащищенном боксе, который устанавливают перед кабиной – между балок рамы, под грузовой платформой. На бор-

ту размещен электропит. Входная розетка предусмотрена для подключения системы зарядки АБ к однофазной переменной сети напряжением 220-230 В. Имеются также выходная однофазная розетка переменного тока напряжением 220 В и выходная трехфазная розетка переменного тока напряжением 400 В. Подобные системы разрабатывались в нашей стране ранее [4-7].

Выходные розетки предназначены для электропитания подключаемого внешнего оборудования: насосов для перекачки воды, вентиляторов для сушки сена, нагревателей воды, электрических ножниц стрижки животных, строительных и технологических инструментов и др. Время зарядки АБ составляет 8-10 ч. К АБ подключают преобразователь частоты с входным напряжением 440-540 В постоянного тока и выходным трехфазным регулируемым переменным напряжением 380 В, обеспечивающим изменение частоты вращения ротора асинхронного двигателя (АД) в пределах 0-1450 мин⁻¹. Управление частотным преобразователем осуществляется нажатием на штатную педаль газа. Частота вращения ротора АД изменяется по экспоненциальному закону. Скорость набора оборотов ротора АД до максимальных установлена программно и может составлять 5-20 с. Но с учетом коэффициента скольжения ротора и импульса подключенной нагрузки (масса Т-16) фактическая скорость набора оборотов уменьшится. Запрограммированное время остановки АД может составлять 2-20 с. Разработан экспериментальный образец тракторного самоходного шасси Т-16 с электроприводом (рис. 2).



Рис. 2. Экспериментальный образец тракторного самоходного шасси Т-16 с электроприводом

Fig. 2. An experimental model of the T-16 self-propelled tractor chassis with an electric drive

Аккумуляторная батарея состоит из 40 последовательно соединенных аккумуляторов емкостью по 20 А·ч, общей массой 160 кг. В случае разряда АБ и невозможности подзарядки от сети 220 В оператор в ручном режиме может включить резервную энергетическую силовую установку, состоящую из газотурбинного двигателя и электрогенератора. Электрогенератор, через зарядно-преобразующее устройство заряжает АБ и при достижении 85% емкости АБ автоматически отключается.

Вторичным источником энергии служит силовая установка мощностью 12-14 кВт, обеспечивающая одновременно зарядку АБ, движение МТС и исполнение технологических сельскохозяйственных операций. Силовую установку массой 60-70 кг фиксируют к КПП, за кабиной, над электроприводом. Приводом силовой установки является газотурбинный двигатель (ГТД) [8]. В качестве топлива в нем используют пропан-бутановую смесь или керосин. Керосин заливают в штатный бак для дизельного топлива. Баллон для пропан-бутановой смеси можно разместить под грузовой платформой, за передним мостом.

Результаты и обсуждение. Для экономии электроэнергии подойдет и менее мощный электродвигатель – 7,5 кВт, так как максимальный крутящий момент АД превышает номинальный в 2-3 раза. К тому же электродвигатель имеет еще и перегрузочную характеристику, в 1,5 раза превышающую максимальные значения мощности и крутящего момента.

Этот показатель зависит от времени воздействия и уровня перегрузки (до достижения температуры обмотки 80-180°C, в зависимости от конструкции АД) [9, 10]. Но чтобы сохранить рабочие характеристики МТС, АД выбирают по номинальному крутящему моменту. Максимальный крутящий момент установленного электродвигателя АИР 132-М4, с учетом перегрузочной характеристики, может достигать 120-130 Нм [11].

Частота вращения коленчатого вала дизельного двигателя, как и электродвигателя, составляет 1450 мин⁻¹, а номинальный крутящий момент – 71,5 Нм – электродвигатель создает при 0 мин⁻¹. Рабочая частота вращения двигателя Д-21 находится в пределах 800-1100 мин⁻¹, рекомендуемая частота вращения АД – 200-350 мин⁻¹. Такой диапазон изменения скорости вращения АД вместе со штатной коробкой передач позволит мобильному транспортному средству перемещаться со скоростью 1-13 км/ч.

Совмещение характеристик дизельных двигателей и электрических трансмиссий в графическом изображении предоставляет наиболее точную картину взаимодействия (рис. 3) [12, 13].

Технические характеристики АД вполне соответствуют показателям двигателя Д-21. А по некоторым позициям даже имеют превосходство. Так, частота вращения ротора на всех скоростях может начинаться с 0 мин⁻¹, скорость набора до наибольшей частоты вращения ротора электродвигателя составляет 11 с, акустическая активность не превышает 71 дБ, уровень вибрации 1,8-2,8 мм/с.

На рисунке 4 представлена блок-схема разрабатываемого МТС на базе тракторного самоходного шасси Т-16.

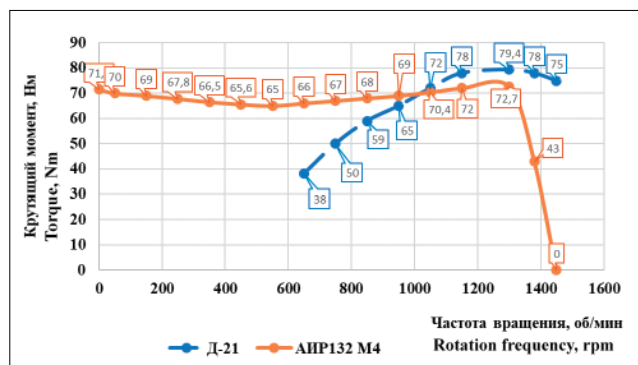


Рис. 3. Крутящий момент дизельного двигателя Д-21 и асинхронного электродвигателя АИР 132 М4 мощностью 11 кВт
Fig. 3. Torque of the D-21 diesel engine and the AIR 132 M4 asynchronous electric motor with a power of 11 kW

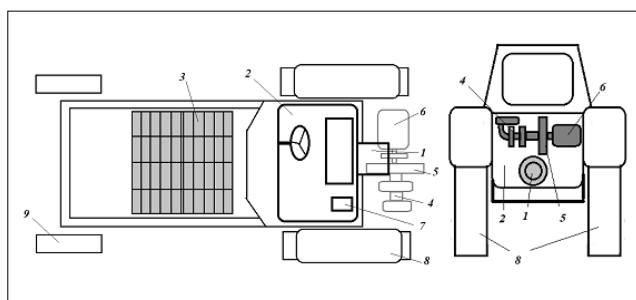


Рис. 4. Блок-схема гибридного МТС на базе тракторного самоходного шасси Т-16: 1 – асинхронный электродвигатель; 2 – коробка переключения передач; 3 – аккумуляторные батареи; 4 – газотурбинный двигатель; 5 – свободная силовая турбина; 6 – электрогенератор; 7 – частотный преобразователь; 8 – задние ведущие колеса; 9 – передние управляемые колеса
Fig. 4. Block diagram of a hybrid MTS based on a tractor self-propelled chassis T-16: 1 – asynchronous electric motor; 2 – gearbox; 3 – rechargeable batteries; 4 – gas turbine engine; 5 – free power turbine; 6 – electric generator; 7 – frequency converter; 8 – rear driving wheels; 9 – front steered wheels

Один из важнейших узлов – энергетическая силовая установка, обеспечивающая выработку электроэнергии в любое время (рис. 4). Для ее создания необходим газотурбинный двигатель, работающий на керосине или пропан-бутановой смеси и отвечающий всем параметрам нагрузки. Двигатель состоит из радиального компрессора с центробежной турбиной высокого давления и камеры сгорания (КС). Частота вращения турбокомпрессорного ротора должна составлять 100-120 тыс. мин⁻¹.

Для получения надежного и дешевого двигателя необходимо оптимизировать всю его конструкцию в целом: определить параметры радиального компрессора и турбины, разработать КС и рассчитать ее технические характеристики.

Энергетическая установка обеспечивает движение трактора, выполнение технологических операций и заряд аккумуляторных батарей (рис. 5).

Энергетическая установка обеспечивает движение трактора, выполнение технологических операций и заряд аккумуляторных батарей (рис. 5).

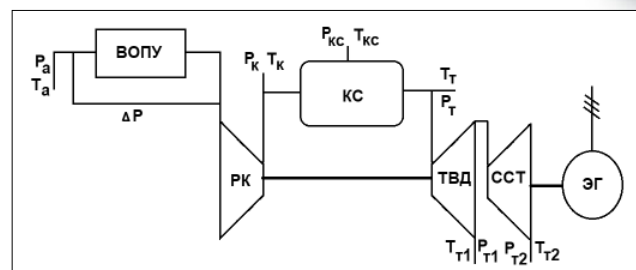


Рис. 5. Принципиальная схема энергетической установки: ВОРУ – входное очистительно-пусковое устройство; РК – радиальный компрессор; КС – камера сгорания; ТВД – турбина высокого давления; ССТ – свободная силовая турбина; ЭГ – электрогенератор; P – давление; T – температура (a – атмосферная; k – после компрессора; t – на турбину высокого давления; t1 – после турбины высокого давления; t2 – после свободной силовой турбины)
Fig. 5. Schematic diagram of the power plant: ВОРУ – inlet cleaning and starting device; РК – radial compressor; КС – combustion chamber; ТВД – high pressure turbine; ССТ – free power turbine; ЭГ – electric generator; P – pressure; T – temperature (a – atmospheric; k – after the compressor; t – to the high pressure turbine; t1 – after the high pressure turbine; t2 – after the free power turbine)

При расчете принципиальной схемы по циклу Брайтона используют индексы (рис. 6).

При расчете принципиальной схемы по циклу Брайтона используют индексы (рис. 6).

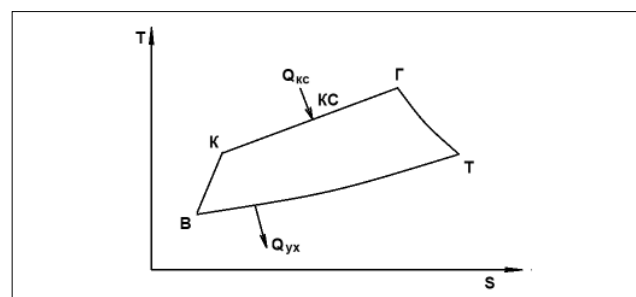


Рис. 6. Цикл газотурбинного двигателя в тепловой диаграмме: В – параметры воздуха на входе в радиальный компрессор; К – параметры воздуха на выходе из радиального компрессора; Г – параметры рабочего тела перед центробежной турбиной высокого давления; Т – параметры рабочего тела за центробежной турбиной высокого давления; Q_{кк} – количество теплоты топлива; Q_{yx} – количество теплоты в уходящих газах
Fig. 6. Cycle of a gas turbine engine in a thermal diagram: В – parameters of air at the entrance to the radial compressor; К – parameters of air at the outlet of the radial compressor; Г – parameters of the working fluid in front of the high-pressure centrifugal turbine; Т – parameters of the working fluid behind the high-pressure centrifugal turbine; Q_{кк} – the amount of fuel heat; Q_{yx} – the amount of heat in the exhaust gases

Работа, затрачиваемая на сжатие 1 кг воздуха H_к, кДж/кг, определяется по формуле:

$$H_K = c_{PK} (T_K - T_B) = c_{PK} \cdot T_B \left(\pi_K^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) \eta_K^{-1}, \quad (1)$$

где c_{PK} – удельная изобарическая теплоемкость при средней температуре сжатия, $c_{PK} = 1,015$ кДж/(кг·К) [14];

k – показатель адиабаты для воздуха в компрессоре – 1,4;

π_K – степень повышения давления в компрессоре – 2,9;

η_K – изэнтропийный КПД компрессора – 0,75;

T_B – температура атмосферного воздуха – 288 К;

T_K – температура воздуха после компрессора, К.

В ходе сжатия воздуха в компрессоре при изэнтропийном КПД = 0,75 температура повышается на 120-140 К.

$$H_K = 1,015 (408 - 288) \approx 1,015 \cdot 288 (2,9^{0,286} - 1) 0,75^{-1} \approx 118,0 \text{ кДж/кг.}$$

Температура в конце сжатия компрессора, К:

$$T_K = T_B + \frac{H_K}{c_{PK}}, \quad (2)$$

$$T_K = 288 + (118/1,015) = 404 \text{ К.}$$

Вычислим работу расширения 1 кг рабочего тела в турбине, с учетом потерь на охлаждение воздухом, H_T , кДж/кг:

$$H_T = c_{PT} (T_T - T_{TP}) = c_{PT} \cdot T_T \left(1 - \pi_T^{-\frac{k-1}{k}} \right) \eta_T, \quad (3)$$

где c_{PT} – удельная изобарическая теплоемкость при средней температуре сжатия расширения в турбине, $c_{PT} = 1,07$ кДж/(кг·К);

T_T – температура рабочего тела перед турбиной, принята равной 965 К;

T_{TP} – температура рабочего тела за турбиной – 853 К;

k – истинный показатель адиабаты сгорания керосина – 1,33;

η_T – изэнтропический КПД турбины – 0,72;

π_T – степень расширения рабочего тела в турбине:

$$\pi_T = \pi_K (1 - \zeta_{TP}), \quad (4)$$

где ζ_{TP} – коэффициент гидравлических потерь давления по тракту – 0,3.

Подставим значения в выражение (4):

$$\pi_T = 2,9 (1 - 0,3) = 2,03.$$

Работа расширения 1 кг рабочего тела в турбине составляет:

$$H_T = 1,07 (965 - 853) \approx 1,07 \cdot 853 (1 - 1,193) 0,72 \approx 123 \text{ кДж/кг.}$$

Определим коэффициент избытка воздуха α_B :

$$\alpha_B = \frac{3000 - 0,367 T_T}{T_T - T_B}, \quad (5)$$

$$\alpha_B = \frac{3000 - 0,367 \cdot 945}{945 - 288} = 4,0.$$

Температура горения керосина в КС при коэффициенте избытка воздуха $\alpha_B = 1$ составляет 1925°C. Следовательно, рабочее тело, поступающее на турбину, критическая температура которой 700°C, необходи-

мо охладить до 580-650°C. Коэффициент общего количества воздуха, подаваемого компрессором, равен:

$$\alpha_{OB} = \alpha_B + \alpha_T + \alpha_{OX}, \quad (6)$$

где α_T – воздух на горение – 1,0;

α_{OX} – воздух на охлаждение турбины высокого давления – 3,0;

$$\alpha_{OB} = 4,0 + 1,0 + 3,0 = 8,0.$$

Таким образом, необходимые параметры для выбора турбокомпрессора определены.

По показателям радиального компрессора и центробежной турбины высокого давления выбирают из каталога турбокомпрессор ДВС, производительность которого N_B определяется по известным и разработанной ранее методикам [15-17]:

$$N_B = \frac{N_{ЭЛ} \cdot \alpha_{OB} \cdot L_0}{Q_T \cdot \eta_{ЭГ} \cdot \eta_{ССТ} (1 - P)}, \quad (7)$$

где $N_{ЭЛ}$ – мощность энергетической установки,

$N_{ЭЛ} = 11$ кВт;

L_0 – количество воздуха, необходимого для стехиометрического сгорания топлива, $L_0 = 15$ кг/кг;

Q_T – удельная теплота сгорания керосина, $Q_T = 12,2$ кВт/кг;

$\eta_{ЭГ}$ – КПД электрогенератора, $\eta_{ЭГ} = 0,75$;

$\eta_{ССТ}$ – КПД свободной силовой турбины,

$\eta_{ССТ} = 0,75$;

P – теоретический коэффициент, показывающий долю энергии потока, затрачиваемую на работу компрессора, $P = 0,7$.

Теоретический электрический КПД установки

$\eta = 25\%$.

Необходимая производительность компрессора должна составлять не менее:

$$N_B = \frac{11,0 \cdot 8,0 \cdot 15,0}{12,2 \cdot 0,75 \cdot 0,75 (1 - 0,7)} = 0,178 \text{ кг/с.} \quad (8)$$

В каталоге турбокомпрессоров ДВС можно подобрать вариант, наиболее близкий к расчетным параметрам: производительности, надежности, частоты вращения и наименьшей стоимости. Этим требованиям соответствует турбокомпрессор К-27-145 производства Чехии:

- угол разворота фланца компрессора, град. 338;
- угол разворота фланца турбины, град. 321;
- частота вращения вала ротора, мин⁻¹ 30000-120000;
- максимальная степень повышения давления 2,9;
- производительность, кг/с 0,26;
- допустимая температура газов перед турбиной без ограничения по времени, °С 700;
- изэнтропийный КПД компрессора 0,75;
- изэнтропийный КПД турбины 0,72.

На конструктивные параметры камеры сгорания влияет тип выбранного турбокомпрессора. Так как необходимо обеспечить не только подвод воздуха в КС из турбокомпрессора, но и ввод рабочего газа в него, была принята конструкция с боковым подводом воздуха, обеспечивающим его вихревое движение в

смесителе. В такой конструкции рабочие газы подаются на лопатки турбины без изменения угла подачи, что повышает КПД.

Турбокомпрессор и КС объединяют через патрубок подвода воздуха и болтовое соединение (рис. 7).

Конструкция КС предусматривает установку све-

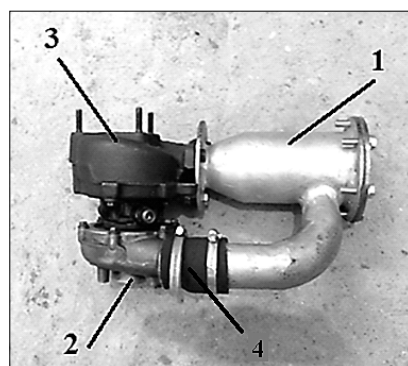


Рис. 7. Соединение турбокомпрессора и камеры сгорания:
1 – турбина высокого давления; 2 – компрессор; 3 – соединительная муфта; 4 – камера сгорания

Fig. 7. Connection of turbocharger and combustion chamber:
1 – high pressure turbine; 2 – compressor; 3 – connecting sleeve;
4 – combustion chamber

чи зажигания на продольной оси смесителя (рис. 8). Рядом располагается топливная форсунка, что обеспечивает гарантированный поджог топлива и распространение очага пламени по центру смесителя.

Давление керосина в топливной системе поддерживается шестеренчатым топливным насосом и составляет 0,5-0,6 МПа, а давление подачи воздуха компрессором должно превышать 0,2 МПа. Такая конструкция КС обеспечивает активное перемешивание топлива с воздухом.

Геометрические параметры камеры сгорания рассчитаны согласно известным и разработанной методикам [18-20]:

- диаметр корпуса камеры сгорания, мм	108;
- длина корпуса камеры сгорания, мм	186;
- высота выходного конуса камеры сгорания, мм	65;
- диаметр смесителя, мм	62;
- длина смесителя, мм	196;
- количество отверстий, шт.	60;
- зазор между корпусом камеры сгорания и смесителем, мм	4;
- площадь соплового отверстия, мм ²	1962;
- площадь входного патрубка, мм ²	1620;
- сечение соплового отверстия, мм	40 × 49.

Следующим этапом создания силовой установки

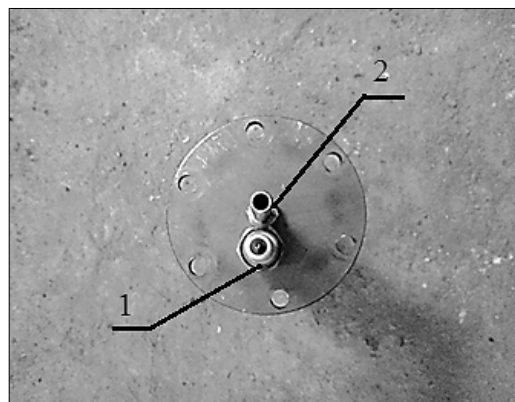


Рис. 8. Фланец камеры сгорания со свечой зажигания (1) и топливной форсункой (2)

Fig. 8. Combustion chamber flange with spark plug (1) and fuel injector (2)

станет разработка свободной силовой турбины, обеспечивающей эффективное преобразование кинетической энергии газового потока, поступающего из газотурбинного двигателя, в ее вращательное движение с максимальной мощностью. Но для этого необходимо практическое подтверждение таких технических параметров, как количество рабочего тела, исходящего из двигателя, и его температура. Это станет возможным по завершении сборочных работ двигателя.

Выводы. Разрабатываемое транспортное средство имеет более широкие технологические возможности по сравнению с традиционными и становится наиболее экономически эффективным при его применении на сельскохозяйственных технологических операциях, связанных с использованием теплоты: тепловой обработкой и созданием условий для хранения зерновых культур, вентилирования сена и соломы.

Предложенная конструкция гибридного мобильного транспортного средства на аккумуляторной батарее и газовой турбине способна работать на одной заправке в течение всего рабочего дня, а для обеспечения мощности 16 л.с. дизельного двигателя достаточно установить асинхронный электродвигатель мощностью 7,5 кВт. Рассчитали производительность компрессора газотурбинного двигателя, которая составила 0,178 кг/с. Определили геометрические параметры камеры сгорания и техническую характеристику турбокомпрессора.

Все эти операции можно производить в местах, в удаленных от электрических сетей, используя МТС как транспортно-технологическое средство, источник электроэнергии и теплоты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

1. Huisong G., Xue J. Modeling and economic assessment of electric transformation of agricultural tractors fueled with diesel. *Sustainable energy technologies and assessments*. 2020. Vol. 39. 100697.
2. Cristea M., Sorica C. Study on the behavior of a battery mounted on an electric tractor prototype. *INMATEH – Agricultural*

tural Engineering. 2020. Vol. 62. N3. 19-28.

3. Gusarov V.A., Godzhaev Z.A., Gusarova E.V. The Prospect of Using Gas Turbine Power Plants in the Agricultural Sector. *AMA – Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 2020. Vol. 51. N3. 19-23.

4. Tonghui L., Bin X., Zhen L. Design and Optimization of a Dual-Input Coupling Powertrain System: A Case Study for Electric Tractors. *Applied Sciences*. 2020. Vol. 10. N5. 1608.

5. Zhdanovich Ch.I., Kalinin N.V. Determination of Transmission Gear Ratio in Mechanical Part of Tractor Electro-Mechanical Transmission. *Science & Technique*. 2016. Vol.15. N1. 29-36.

6. Matache M.G., Cristea M., Gageanu I. Small power electric tractor performance during ploughing works. *Inmateh-agricultural engineering*. 2020. Vol. 60. N1. 123-128.

7. Melo R.R., Antunes F.L.M., Daher S., et al. Conception of an electric propulsion system for a 9 kW electric tractor suitable for family farming. *IET Electric Power Applications*. 2019. Vol. 13. N12. 1993-2004.

8. Gusarov V.A., Yuferev L.Yu., Godzhaev Z.A., Parachnich A.S. Turbine Power Plant of Low Power GTP-10S. Handbook of Research on Energy-Saving Technologies for Environmentally-Friendly Agricultural Development. 2020. Chapter 4. 85-106.

9. Zhdanovich Ch.I., Kalinin N.V. Selection of method for regulation of tractor propulsion asynchronous electric motor and construction of mechanical characteristics. *Science & Technique*. 2015. N3. 60-64.

10. Volontsevich D.O., Veretennikov E.A., Kostianik I.V. Determination of the electric drive power for lightly armored caterpillar and wheeled vehicles using single- or two-stage mechanical gearboxes. *Electrical engineering & electromechanics*. 2019. N1. 29-34.

11. Zhdanovich Ch.I., Kalinin N.V. Efficiency Analysis of Energy Accumulating Mechanism for Tractor with Electromechanical Transmission. *Science & Technique*. 2017. Vol. 16. N1. 73-82.

12. Kulikov I., Kozlov A., Terenchenko A. Comparative Study

of Powertrain Hybridization for Heavy-Duty Vehicles Equipped with Diesel and Gas Engines. *Energies*. 2020. Vol. 13. N8. Article 2072.

13. Kim W., Kim Y.-J., Kim Y.-S. Development of Control System for Automated Manual Transmission of 45-kW Agricultural Tractor. *Applied sciences*. 2020. Vol. 10. N8. Article 2930.

14. Zhdanovich Ch.I. Opredelenie peredatochnykh otnoshenii mekhanicheskoi chasti elektromekhanicheskoi transmissii traktora [Determination of gear ratios of the mechanical part of the electromechanical transmission of the tractor]. *Nauka i tekhnika*. 2016. Vol. 15. N1. 29-36 (In Russian).

15. Shan Sh., Qian B., Zhou Zh. New pressurized WSGG model and the effect of pressure on the radiation heat transfer of H₂O/CO₂ gas mixtures. *International journal of heat and mass transfer*. 2018. Vol. 121. 999-1010.

16. Ozsari I., Ust Y. Effect of varying fuel types on oxy-combustion performance. *International journal of energy research*. 2019. Vol. 43. N14. 8684-8696.

17. Fatsis A. Design point analysis of two-shaft gas turbine engines topped by four-port wave rotors for power generation systems. *Propulsion and power research*. 2019. Vol. 8. N3. 183-193.

18. Giusti A., Magri L., Zedda M. Flow Inhomogeneities in a Realistic Aeronautical Gas-Turbine Combustor: Formation, Evolution, and Indirect Noise. *Journal of engineering for gas turbines and power-transactions of the asme*. 2019. Vol. 141. N1. Article 011502.

19. Prodan N.V., Chernyshov P.S., Ilina E.E. The Use of Subcritical Streamer Microwave Discharge for Multipoint Ignition of the Fuel Mixture Flow in Microturbine Combustion Chamber. *Problemele energeticii regionale*. 2019. N3. 91-100.

20. Galashov N.N., Tsubulskiy S.A. Parametric analysis of the diagram of the combined-cycle gas turbine with a combination of three cycles for improving efficiency when operating in northern gas producing areas. *Bulletin of the tomsk polytechnic university-geo assets engineering*. 2019. Vol. 330. N5. 44-50.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 08.04.2021
The paper was submitted
to the Editorial Office on 08.04.2021

Статья принята к публикации 06.05.2021
The paper was accepted
for publication on 06.05.2021

Мощность двигателя трактора, оснащенного технологическим модулем

Максим Владимирович Сидоров¹,
кандидат технических наук, доцент;
Александр Владимирович Лавров²,
кандидат технических наук, ведущий научный
сотрудник, e-mail: vimlavrov@mail.ru;

Виктор Александрович Воронин³,
аспирант;
Анастасия Владимировна Сидорова⁴,
аспирант

¹Калужский филиал Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А.Тимирязева, г. Калуга, Российская Федерация;

²Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация;

³Брянский государственный аграрный университет, г. Брянск, Российская Федерация;

⁴Калужский филиал Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана, г. Калуга, Российская Федерация

Реферат. Отметим дефицит тракторов класса 2 и 3 в крестьянских хозяйствах. В качестве решения данной проблемы предложили разработать технологический модуль, позволяющий повысить универсальность тракторов класса 1,4 путем перевода их в более высокий тяговый класс. (*Цель исследования*) Обосновать номинальную эксплуатационную мощность двигателя для трактора с технологическим модулем. (*Материалы и методы*) Для расчета необходимой мощности предложили методику, учитывающую конструктивные особенности модульного построения машинно-тракторного агрегата. (*Результаты и обсуждение*) Показали, что для модульного энергосредства с колесной формулой 6К6 следует учитывать ряд дополнительных факторов, влияющих на точность расчета: во-первых, тягово-сцепные свойства трактора зависят от количества ведущих осей; во-вторых, буксование колес по отдельным осям неодинаково и обусловлено конструктивно заданным кинематическим несоответствием в их приводе; в-третьих, КПД трехосной трансмиссии можно определить только как суммарный показатель трех ветвей трансмиссии, то есть на привод передних и задних колес трактора и отдельно – на привод колес технологического модуля. Сравнили требуемую мощность двигателя при использовании трактора с балластом и с технологическим модулем. (*Выводы*) Определили, что для достижения предельной по сцеплению силы тяги на крюке при переходе в следующий более высокий класс тяги необходимо, чтобы трактор, к которому подсоединяется технологический модуль, обладал энергонасыщенностью 2,00-2,41 киловатта на килоньютон, что соответствует тракторам тягово-энергетической концепции, у которых мощность двигателя не может быть реализована через тягу. Выявили, что энергонасыщенность трактора с технологическим модулем будет равна 1,59-1,65 киловатта на килоньютон, что соответствует трактору тяговой концепции и позволяет реализовать заложенную мощность двигателя через тягу.

Ключевые слова: тягово-энергетическая концепция трактора, трактор с балластом, энергетический модуль, технологический модуль, модульное энерготехнологическое средство.

Для цитирования: Сидоров М.В., Лавров А.В., Воронин В.А., Сидорова А.В. Мощность двигателя трактора, оснащенного технологическим модулем // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. №2. С. 33-40. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-33-40.

Engine Power Required When Using a Tractor with a Technology Module

Maksim V. Sidorov¹,
Ph.D.(Eng.), associate professor;
Aleksandr V. Lavrov²,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: vimlavrov@mail.ru;

Virtor A. Voronin³,
post-graduate student;
Anastasiia V. Sidorova⁴,
post-graduate student

¹Kaluga Branch of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Kaluga, Russian Federation;

²Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation;

³Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russian Federation;

⁴Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, Russian Federation

Abstract. A shortage of class 2 and class 3 tractors was observed in peasant farms. As a solution to this problem, it was proposed to develop a technological module that would increase the versatility of class 1.4 tractors by transferring them to a higher traction class. (*Research purpose*) The authors aimed to substantiate the nominal operating power of the engine for a tractor with a technological module. (*Materials and methods*) To calculate the required power, the authors proposed a method that takes into account the design features of the modular construction of a machine-tractor unit. (*Results and discussion*) The authors showed that for a modular power unit with a 6K6 wheel arrangement, it is necessary to consider a number of additional factors having an impact on the accuracy of the calculation: firstly, the tractor's traction and coupling properties depend on the number of driving axles; secondly, the wheel slippage along individual axes is not the same and occurs due to a constructively conditioned kinematic discrepancy in their drive; thirdly, the three-axle transmission efficiency can be determined only as a total indicator of three transmission branches, that is, to drive the tractor front and rear wheels and, separately, to drive the wheels of the technological module. The authors compared the required engine power when using a tractor with ballast and that with a technological module. (*Conclusions*) It was determined that in order to achieve the maximum traction force of adhesion on the hook when moving to the next higher traction class, it is necessary that the tractor, that the technological module is joint to, has the energy saturation of 2.00-2.41 kilowatts per kilonewton, which corresponds to traction and energy concept tractors whose engine power cannot be realized through traction. It was found that the power saturation of the tractor with the technological module will be equal to 1.59-1.65 kilowatts per kilonewton, which corresponds to the tractor of the traction concept and allows realizing the built-in engine power through traction.

Keywords: traction and energy concept of a tractor, tractor with ballast, energy module, technological module, modular power-processing means, modular energy technology facility.

For citation: Sidorov M.V. Lavrov A.V., Voronin V.A., Sidorova A.V. Moshchnost' dvigatelya traktora, osnashchennogo tekhnologicheskim modulem [Engine power of a tractor equipped with a technology module]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N2. 33-40 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-33-40.

Эффективность развития крестьянских (фермерских) хозяйств в значительной мере определяется перспективностью направления производственной деятельности, природно-климатическими условиями, рациональной организацией производства и оснащенностью техникой. Несмотря на небольшие обрабатываемые площади, оптимальный типаж для фермерских хозяйств должен включать в себя тракторы тяговых классов 1,4; 2 и 3 [1].

Однако ввиду низкой платежеспособности хозяйства применяют как правило 1-2 трактора класса 1,4. При этом для фермера важно самостоятельно выполнять максимально возможный объем работ, так как привлечение со стороны сельскохозяйственной техники и трудовых ресурсов обычно обходится намного дороже, а иногда и невозможно. В этих условиях целесообразно иметь устройство, повышающее универсальность имеющихся тракторов, позволяющее переводить их в более высокий смежный тяговый класс. При этом цена устройства должна быть доступной. Такую задачу можно решить несколькими способами, применяя балласты, приводные сельскохозяйственные машины или технологические модули [2-7].

С этой целью на основе существующей элементной базы создан технологический модуль (ТМ), позволяющий перевести серийно выпускаемый трактор класса 1,4 (Беларус 82.1) в тяговый класс 2 (рис. 1) [8, 9].

Основные агротехнические требования на ТМ разработаны при участии творческого коллектива науч-

ных работников в ФНАЦ ВИМ. Эти требования основаны на имеющемся научно-техническом заделе и результатах анализа перспективных агротехнологий [10-12].

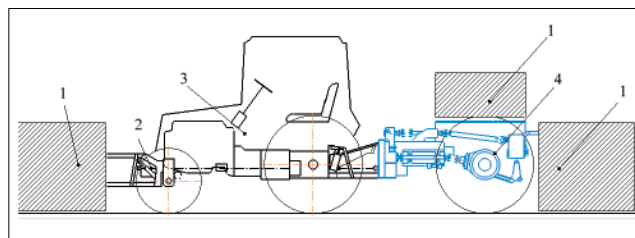


Рис. 1. Технологические пространства на тракторе с технологическим модулем: 1 – технологические пространства; 2 – переднее навесное устройство; 3 – трактор; 4 – технологический модуль

Fig. 1. Technological spaces on a tractor with a technological module: 1 – technological spaces; 2 – front hitch; 3 – tractor; 4 – technological module

Компоновочная и конструктивная проработка ТМ, включающая адаптацию ТМ к агротехническим требованиям и серийно выпускаемым тракторам Беларус 82.1, проведены в Калужском филиале МГТУ имени Н.Э. Баумана [13-14].

Для наиболее эффективной эксплуатации машинно-тракторного агрегата (МТА), построенного на базе трактора и ТМ, необходимо рассчитать мощность двигателя трактора с учетом особенностей конструкции модульного энергетического средства (МЭС).

Цель исследования – обосновать номинальную эксплуатационную мощность двигателя для трактора с технологическим модулем.

Материалы и методы. Номинальную эксплуатационную мощность двигателя трактора тяговой концепции принято рассчитывать по формуле:

$$N_{н.э} = \frac{(P_{кр.н} + P_f) v_{тр.н}}{\eta_{тр} (1 - \delta_n)}, \quad (1)$$

где $P_{кр.н}$ – номинальное тяговое усилие трактора, кН;
 P_f – сила сопротивления качению трактора, кН;
 $v_{тр.н}$ – действительная скорость движения трактора при номинальном тяговом усилии, м/с;

$\eta_{тр}$ – механический КПД трансмиссии трактора;
 δ_n – допустимое значение буксования.

При модульной схеме комплектования трактора с технологическим модулем модульное энергосредство имеет колесную формулу 6К6. Поэтому при тяговом расчете таких тракторов необходимо учитывать ряд дополнительных факторов, влияющих на точность определения номинальной эксплуатационной мощности двигателя [15, 16].

Во-первых, тягово-сцепные свойства трактора зависят от количества ведущих осей. Помимо того, что при всех ведущих колесах в силу тяги реализуется полный вес трактора и возрастает коэффициент использования веса $\varphi_{кр}$, снижается коэффициент сопротивления качению f_k и повышается коэффициент сцепления φ_k вследствие прохода колес второго и третьего мостов по следу колес первого моста (рис. 2).

Во-вторых, буксование колес δ по отдельным осям неодинаково и зависит от конструктивно заданного кинематического несоответствия в их приводе (коэффициент k_n), а в выражении (1) используется буксова-

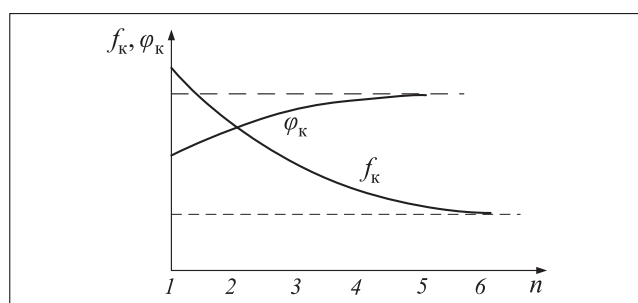


Рис. 2. Зависимость коэффициента сцепления φ_k и коэффициента сопротивления качению f_k от числа проходов n колеса по одному следу деформируемой поверхности

Fig. 2. The dependence of the adhesion coefficient φ_k and the rolling resistance coefficient f_k on the number of wheel passes n along one track of the deformable surface

ние колес только одного заднего моста трактора.

В-третьих, КПД трехосной трансмиссии $\eta_{тр}$ МЭС 6К6 можно определить расчетом только как сумму КПД трех ветвей трансмиссии отдельно на привод:

- передних колес трактора;

- задних колес трактора;

- колес ТМ.

Потери мощности в каждой ветви трансмиссии зависят от двух факторов [14, 15]:

- механического КПД ($\eta_{тр1}$, $\eta_{тр2}$, $\eta_{тр3}$);

- доли мощности двигателя, передаваемой через данную ветвь трансмиссии и учитываемую коэффициентом передачи мощности k_{N1} , k_{N2} , k_{N3} .

Номинальную эксплуатационную мощность двигателя будем определять как сумму мощностей, потребляемых отдельным мостом – передним, задним и ТМ:

$$N_{н.э.МЭС} = N_{н.э.п} + N_{н.э.ТМ}, \quad (2)$$

где $N_{н.э.МЭС}$ – мощность двигателя модульного энерготехнологического средства, кВт;

$N_{н.э.п}$ – мощность двигателя на привод колес переднего моста ЭМ, кВт;

$N_{н.э.к}$ – мощность двигателя на привод колес заднего моста ЭМ, кВт;

$N_{н.э.ТМ}$ – мощность двигателя на привод колес ТМ, кВт.

Тяговый расчет проводим с допущением, что все ведущие мосты заблокированы. При этом не учитывается паразитная мощность, затрачиваемая на скольжение отстающих колес при работе трактора с низкой тяговой нагрузкой.

Исходя из принятого условия, что номинальная эксплуатационная мощность двигателя равна сумме мощностей, реализуемых каждым ведущим мостом, силу тяги определяем, как сумму сил тяги мостов МЭС. Тогда для трактора с ТМ:

$$P_{кр.МЭС} = P_{кр.п} + P_{кр.к} + P_{кр.ТМ}, \quad (3)$$

где $P_{кр.МЭС}$ – номинальная эксплуатационная мощность двигателя, кН;

$P_{кр.п}$, $P_{кр.к}$, $P_{кр.ТМ}$ – сила тяги переднего, заднего мостов трактора и ТМ соответственно, кН.

Аналогично примем, что сила сопротивления качению трактора или МЭС равна сумме сил сопротивления качению мостов трактора или МЭС. Тогда для трактора с ТМ

$$P_{ф.МЭС} = P_{ф.п} + P_{ф.к} + P_{ф.ТМ}, \quad (4)$$

где $P_{ф.МЭС}$ – сила сопротивления качению трактора или МЭС, кН;

$P_{ф.п}$, $P_{ф.к}$, $P_{ф.ТМ}$ – сила сопротивления качению колес переднего, заднего мостов трактора и ТМ соответственно, кН.

Сложив выражения (3) и (4), получим:

$$P_{кр.МЭС} + P_{ф.МЭС} = (P_{кр.п} + P_{ф.п}) + (P_{кр.к} + P_{ф.к}) + (P_{кр.ТМ} + P_{ф.ТМ}). \quad (5)$$

Левая часть уравнения (5) представляет собой часть числителя выражения (1), заключенного в скобку. Так как средняя поступательная скорость всех ведущих мостов одинаковая, то тяговая мощность трактора бу-

дет равна сумме мощностей, реализуемых каждым ведущим мостом МЭС:

$$(P_{кр.МЭС} + P_{ф.МЭС}) v_{тр} = (P_{кр.п} + P_{ф.п}) v_{тр} + (P_{кр.к} + P_{ф.к}) v_{тр} + (P_{кр.ТМ} + P_{ф.ТМ}) v_{тр}. \quad (6)$$

Умножим и поделим каждый член выражения (6) на знаменатель выражения (1) с учетом присущего каждому мосту своего буксования и КПД привода:

$$\begin{aligned} \frac{(P_{кр.МЭС} + P_{ф.МЭС}) v_{тр}}{\eta_{тр.МЭС} (1 - \delta_n)} &= \frac{(P_{кр.п} + P_{ф.п}) v_{тр}}{\eta_{тр1} (1 - \delta_{н.п})} + \\ &+ \frac{(P_{кр.к} + P_{ф.к}) v_{тр}}{\eta_{тр2} (1 - \delta_{н.к})} + \\ &+ \frac{(P_{кр.ТМ} + P_{ф.ТМ}) v_{тр}}{\eta_{тр3} (1 - \delta_{н.ТМ})}. \end{aligned} \quad (7)$$

Запишем, что:

$$\begin{aligned} \frac{(P_{кр.МЭС} + P_{ф.МЭС}) v_{тр}}{\eta_{тр.МЭС} (1 - \delta_n)} &= N_{н.э.МЭС} \\ \frac{(P_{кр.п} + P_{ф.п}) v_{тр.п}}{\eta_{тр1} (1 - \delta_n)} &= N_{н.э.п}; \\ \frac{(P_{кр.к} + P_{ф.к}) v_{тр.к}}{\eta_{тр2} (1 - \delta_n)} &= N_{н.э.к}; \\ \frac{(P_{кр.ТМ} + P_{ф.ТМ}) v_{тр.ТМ}}{\eta_{тр3} (1 - \delta_{ТМ})} &= N_{н.э.ТМ}, \end{aligned} \quad (8)$$

где $N_{н.э.п}$, $N_{н.э.к}$ и $N_{н.э.ТМ}$ – эффективная мощность двигателя, потребляемая на привод переднего и заднего мостов трактора и на привод активных колес ТМ, кВт;
 $\eta_{тр1}$, $\eta_{тр2}$, $\eta_{тр3}$ – механический КПД ветви трансмиссии от двигателя к переднему, заднему мостам трактора и к ТМ соответственно;

δ_k – допустимое буксование на лущеной стерне зерновых колес заднего моста трактора;

δ_n и $\delta_{ТМ}$ – буксование колес переднего моста и ТМ соответственно с учетом кинематического несоответствия в их приводе.

С учетом (8) выражение (7) можно записать в следующем виде:

$$N_{н.э.МЭС} (1 - \delta_n) = N_{н.э.п} \eta_{тр1} (1 - \delta_{н.п}) + N_{н.э.к} \eta_{тр2} (1 - \delta_{н.к}) + N_{н.э.ТМ} \eta_{тр3} (1 - \delta_{н.ТМ}). \quad (9)$$

Разделив левые и правые части уравнения (9) на $N_{н.э.}$, получим:

$$\eta_{тр.МЭС} (1 - \delta_n) = \eta_{тр1} (1 - \delta_{н.п}) k_{N1M} + \eta_{тр2} (1 - \delta_{н.к}) k_{N2M} + \eta_{тр3} (1 - \delta_{н.ТМ}) k_{N3M}, \quad (10)$$

где $\eta_{МЭС}$ – КПД трансмиссии МЭС;

$\eta_{тр1}$, $\eta_{тр2}$ и $\eta_{тр3}$ – КПД привода переднего, заднего моста трактора и ТМ;

k_{N1M} , k_{N2M} и k_{N3M} – коэффициенты передачи мощно-

сти на привод передних, задних колес трактора (или ЭМ) и колес ТМ в составе МЭС, учитывающие долю мощности, передаваемую через j -й мост для трактора с ТМ:

$$k_{N1M} = \frac{N_{н.э.п}}{N_{н.э.МЭС}}; k_{N2M} = \frac{N_{н.э.к}}{N_{н.э.МЭС}}; k_{N3M} = \frac{N_{н.э.ТМ}}{N_{н.э.МЭС}}.$$

Для расчета коэффициентов передачи мощности используют выражения (8) при обязательном условии:

$$\sum_{j=1}^N k_{Nj} = 1,$$

которое получается из равенства

$$N_{н.э.тр} = \sum_{j=1}^N N_{н.э.р}$$

где $N_{н.э.р}$ – доля эффективной мощности двигателя, передаваемая отдельно на j -й мост.

Тогда для трактора с ТМ:

$$1 = k_{N1M} + k_{N2M} + k_{N3M}.$$

Таким образом, знаменатель выражения (1) следует рассчитывать как произведение механического КПД трансмиссии $\eta_{тр}$ на КПД буксования $(1 - \delta_n)$ с учетом доли мощности, передаваемой через j -й мост:

$$\eta_{тр} (1 - \delta_n) = \sum_{j=1}^N \eta_{трj} k_{Nj} (1 - \delta_{н.ж}). \quad (11)$$

Выражение (1) в общем виде содержит в числителе сумму сил тяги и сил сопротивления качению ведущих мостов, а в знаменателе – сумму механических потерь мощности в трансмиссии и потерь на буксование:

$$N_{н.э.} = \frac{\sum_{j=1}^N (P_{кр.рj} + P_{ф.рj}) v_{тр.рj}}{\sum_{j=1}^N \eta_{трj} k_{Nj} (1 - \delta_{н.ж})}, \quad (12)$$

где k_{Nj} – коэффициент передачи мощности, учитывающий долю мощности, передаваемую через j -й мост;

$\eta_{трj}$ – механический КПД отдельной ветви трансмиссии;

$(1 - \delta_{н.ж})$ – КПД буксования j -го моста.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Разработана методика определения полной мощности двигателя, реализуемой в силу тяги с учетом разного количества ведущих мостов и транспортно-технологического модуля. С ее помощью на примере трактора тягового класса 1,4 рассчитаем мощность двигателя тракторов с балластом и технологическим модулем при переходе от нижнего к верхнему тяговому классу.

Номинальную эксплуатационную мощность двигателя трактора класса 1,4 в разных комплектациях определим согласно (12):

- для трактора нижнего класса 1.4:

$$N_{н.э.тр} = [(14,00 + 4,55) \cdot 2,50] / 0,79 = 58,52 \text{ кВт};$$

Таблица 1

Table 1

Расчет эксплуатационной мощности колесных тракторов в различных комплектациях CALCULATION OF THE WHEELED TRACTOR OPERATING POWER IN VARIOUS CONFIGURATIONS					
Комплектация Complete set	Номинальное тяговое усилие, кН Rated traction force, kN	Тяговый класс Traction class	Мощность двигателя*, кВт Engine power*, kW	Энергонасыщенность трактора, кВт/кН Tractor energy saturation, kW/kN	
				с балластом или ТМ** with ballast or ТМ**	без балласта и ТМ** without ballast or ТМ**
на базе трактора класса 1,4 / based on a class 1.4 tractor					
без балласта without ballast	14	1,4	58,52/60,18	–	1,64
с балластом with ballast	20	2	83,91/85,97	1,64	2,28
	30	3	125,86/128,96	1,64	3,52
с ТМ with ТМ	20	2	83,55/87,09	1,67	2,29
	30	3	125,64/134,31	1,68	3,52
на базе трактора класса 2 / based on a class 2 tractor					
без балласта without ballast	20	2	83,60/85,97	–	1,64
с балластом with ballast	30	3	125,86/128,96	1,64	2,47
с ТМ with ТМ	30	3	125,37/131,07	1,67	2,46
на базе трактора класса 3 / based on a class 3 tractor					
без балласта without ballast	30	3	125,98/129,31	–	1,65
с балластом with ballast	40	4	162,59/164,75	1,64	2,19
	50	5	203,24/205,94	1,59	2,66
с ТМ with ТМ	40	4	163,54/168,76	1,68	2,19
	50	5	205,63/215,56	1,65	2,69
на базе трактора класса 4 / based on a class 4 tractor					
без балласта without ballast	40	4	162,57/164,75	–	1,59
с балластом with ballast	50	5	203,24/205,94	1,59	1,99
	60	6	243,89/256,09	1,59	2,39
с ТМ with ТМ	50	5	204,02/209,60	1,63	2,00
	60	6	246,12/256,09	1,64	2,41
*В числителе расчет проведен по предлагаемой методике, в знаменателе – по традиционной; **ТМ – технологический модуль *In the numerator, the calculation was carried out according to the proposed method, in the denominator – according to the traditional method; **ТМ – technological module					

- для трактора верхнего класса на базе трактора класса 1.4 с балластом:

$$N_{н.э.тр.б} = [(20,00 + 6,63) \cdot 2,50] / 0,79 = 83,91 \text{ кВт};$$

- для трактора верхнего класса на базе трактора класса 1.4 с ТМ:

$$N_{н.э.МЭС} = [(20,00 + 5,83) \cdot 2,50] / 0,77 = 83,55 \text{ кВт}.$$

Таким образом, в случае применения трактора Беларус 82.1 с ТМ необходимо провести комплекс мер по увеличению мощности двигателя трактора минимум на 25 кВт для перевода его с ТМ в тяговый класс 2.

Номинальную эксплуатационную мощность двигателя трактора класса 1.4 в разных комплектациях определим согласно традиционной методике расчета (1), но с учетом доли мощности двигателя, реализуемой через отдельные мосты, так как иначе КПД трансмиссии невозможно определить:

- для трактора нижнего класса 1,4:

$$N_{н.э.тр} = [(14,00 + 4,64) \cdot 2,50] / 0,90 \cdot (1 - 0,14) = 60,18 \text{ кВт};$$

- для трактора верхнего класса на базе трактора класса 1.4 с балластом:

Таблица 2

Table 2

СРАВНЕНИЕ РАСЧЕТНОЙ И ЗАЯВЛЕННОЙ ЗАВОДОМ-ИЗГОТОВИТЕЛЕМ* МОЩНОСТИ ТРАКТОРА (В СКОБКАХ ДАННЫЕ ИЗ ЛИТЕРАТУРЫ), кВт
THE COMPARISON OF THE CALCULATED AND DECLARED BY THE MANUFACTURER * TRACTOR POWER
(IN BRACKETS, THERE ARE DATA FROM THE LITERATURE), kW

Показатели Indicators	Тяговый класс Traction class			
	1.4	2.0	3.0	5.0
Тракторы / Tractors: расчетное значение / calculated value заявленное значение / declared value:				
MT3-82.1	58,52 58,84 (0,54)	83,60 —	125,98 —	203,21 —
MT3-1221	—	95,6 (14,35)	—	—
T-150K	—	—	121,36 (–3,67)	—
K-744	—	—	—	220,65 (8,58)
Трактор с ТМ* / Tractors with ТМ: расчетное значение / calculated value заявленное значение / declared value0	— —	— —	123,06 117,6 (4,64)	205,63 162,0 (26,93)
*В скобках указано отклонение, %; **ТМ – технологический модуль *In brackets, deviation is indicated, %; **ТМ – technological module				

$$N_{н.з.тр.б} = [(20,00 + 6,65) \cdot 2,50] / 0,90 \cdot (1 - 0,14) = 85,97 \text{ кВт};$$

- для трактора верхнего класса на базе трактора класса 1.4 с ТМ:

$$N_{н.з.мэс} = [(20,00 + 5,83) \cdot 2,50] / 0,86 \cdot (1 - 0,14) = 83,55 \text{ кВт}.$$

Результаты расчетов мощности двигателя колесных тракторов в различных комплектациях приведены в таблице 1.

При всех комплектациях имеется превышение мощности при расчете по традиционной методике на 1,31-6,23% (табл. 1).

Отклонение рассчитанной по предлагаемой методике мощности трактора от данных, приведенных заводом-изготовителем, находится в пределах 0,54-8,58% (табл. 2). Отклонение наблюдается как в сторону превышения мощности, так и в сторону ее недостаточности. Это можно объяснить особенностью подбора тракторным заводом конкретной модели двигателя. Исключение составляет трактор MT3-1221, который обычно рассматривают вне тяговой концепции.

Расхождение расчетной мощности тракторов и данных, приведенных в литературе [16-20], составляет от 4,64 и 26,93%. МЭС, сформированное на базе трактора Т-150К тягового класса 3.0, имело мощность, не достаточную для тягового класса 5.0. Кроме того, оно развивало меньшую скорость в сравнении с трактором К-701 класса 5.0 [18].

Выводы. Для достижения предельной по сцеплению силы тяги на крюке при переходе в следующий более высокий класс тяги необходимо, чтобы трактор, к которому подсоединяется технологический модуль, обладал энергонасыщенностью 2,0-2,41 кВт/кН, что соответствует тракторам тягово-энергетической концепции, у которых мощность двигателя не может быть реализована через тягу. При этом энергонасыщенность трактора с технологическим модулем будет равна 1,59-1,65 кВт/кН, аналогично трактору тяговой концепции, и позволяет реализовать заложенную мощность двигателя через тягу.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Годжаев З.А., Бейлис В.М., Шевцов В.Г., Лавров А.В. Нормативы и прогнозирование потребности сельскохозяйственного производства в технике // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2020. Т. 67. N4(41). С. 151-158.
- Sidorov V.N., Voinash S.A., Ivanov A.A., Petrov S.A. Modular-Technological Scheme for Tractors of Traction Classes 1.4. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 666. 042048.
- Кутьков Г.М. Энергонасыщенность и классификация тракторов // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2009. N5. С. 11-14.
- Кутьков Г.М. Развитие технической концепции трактора // *Тракторы и сельхозмашины*. 2019. N1. С. 27-35.
- Кутьков Г.М. Потенциальная производительность трактора // *Тракторы и сельхозмашины*. 2017. N5. С. 48-52.
- Шутенко В.В., Перевозчикова Н.В., Хорт Д.О. Сравнение эффективности использования балластных грузов и транспортно-технологических модулей для повышения тягово-сцепных свойств трактора // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019. N3(32). С. 162-168.
- Кутьков Г.М., Грибов И.В., Перевозчикова Н.В. Балластирование сельскохозяйственных тракторов // *Тракторы и сельхозмашины*. 2017. N9. С. 52-60.
- Лавров А.В., Сидоров М.В., Воронин В.А. Технологический модуль для крестьянских фермерских хозяйств // *Сельский механизатор*. 2021. N3. С. 5-7.
- Сидоров М.В., Лавров А.В., Воронин В.А. Модульно-технологическая схема для тракторов тягового класса 1,4 // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. N4(37). С. 57-62.



10. Лавров А.В., Шевцов В.Г., Зубина В.А., Русанов А.В. Обоснование требований на мобильное энергетическое средство класса 0,6-0,9 // *Технический сервис машин*. 2020. N3(140). С. 57-66.

11. Lavrov A., Smirnov I., Litvinov M. Justification of the construction of a self-propelled selection seeder with an intelligent seeding system. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 224. 05011.

12. Lavrov A., Shevtsov V., Sidorov M. Algorithm of adaptation results tractors tractive tests based on systems OECD and ISO. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 126. 00035.

13. Сидоров В.Н., Локтик О.В., Сидоров М.В. Повышение производительности машинно-тракторного агрегата применением промежуточного энергетического модуля // *Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения*. 2002. N1(1). С. 112-115.

14. Сидоров В.Н., Сидоров М.В., Кут'ков Г.М. Расчет мощности двигателя и веса трактора тягово-энергетической концепции // *Электронный журнал: Наука, техника и образование*. 2016. N2(6). С. 37-46.

15. Грибов И.В., Перевозчикова Н.В. Мощность – основ-

ной показатель для трактора тягово-энергетической концепции // *Техника и технологии АПК*. 2017. N5. С. 18-21.

16. Кут'ков Г.М. Исследования модульного энерготехнологического средства // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 1989. N12. С. 3-9.

17. Соловьев Р.Ю., Черанев С.В., Карякин С.Б., Коломейченко А.В., Грибов И.В. Актуальность разработки высокотехнологичных тракторов тяговых классов 0,6-2 // *Техника и оборудование для села*. 2019. N11(269). С. 14-17.

18. Кут'ков Г.М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства. М.: КолосС. 2004. 505 с.

19. Бережнов Н.Н., Аверичев Л.В. Обоснование энергонасыщенности колесного трактора по данным контрольного динамометрирования агрегата // *Достижения науки и техники АПК*. 2018. Т. 32. N12. С. 76-81.

20. Berezhnov N. Traction-speed properties of wheeled mobile power equipment for agricultural purposes. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. *12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, INTERAGROMASH*. 2019. 012038.

REFERENCES

1. Godzhaev Z.A., Beylis V.M., Shevtsov V.G., Lavrov A.V. Normativy i prognozirovaniye potrebnosti sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva v tekhnike [Norms and forecast of the agricultural production need for machinery]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2020. Vol. 67. N4 (41). 151-158 (In Russian).

2. Sidorov V.N., Voinash S.A., Ivanov A.A., Petrov S.A. Modular-Technological Scheme for Tractors of Traction Classes 1.4. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 666. 042048 (In English).

3. Kut'kov G.M. Energonasyshchennost' i klassifikatsiya traktorov [Energy saturation and classification of tractors]. *Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny*. 2009. N5. 11-14 (In Russian).

4. Kut'kov G.M. Razvitie tekhnicheskoy kontseptsii traktora [The development of the technical concept of the tractor]. *Traktory i sel'hozmashiny*. 2019. N1. 27-35 (In Russian).

5. Kut'kov G.M. Potentsial'naya proizvoditel'nost' traktora [Potential productivity of the tractor]. *Traktory i sel'hozmashiny*. 2017. N5. 48-52 (In Russian).

6. Shutenko V.V., Perevozchikova N.V., Khort D.O. Sravnenie effektivnosti ispol'zovaniya ballastnykh gruzov i transportno-tekhnologicheskikh moduley dlya povysheniya tyagovostsepykh svoystv traktora [Comparison of the efficiency when using ballast weights and transport and technological modules to improve the traction and coupling properties of the tractor]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2019. N3(32). 162-168 (In Russian).

7. Kut'kov G.M., Gribov I.V., Perevozchikova N.V. Ballastirovanie sel'skokhozyaystvennykh traktorov [Agricultural tractor ballasting]. *Traktory i sel'hozmashiny*. 2017. N9. 52-60 (In Russian).

8. Lavrov A.V., Sidorov M.V., Voronin V.A. Tekhnologicheskii modul' dlya krest'yanskikh fermerskikh hozyaystv [Technology module for peasant farms]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2021. N3. 5-7 (In Russian).

9. 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 classes 1.4]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2019. N4(37). 57-62 (In Russian).

10. Lavrov A.V., Shevtsov V.G., Zubina V.A., Rusanov A.V. Obosnovaniye trebovaniy na mobil'noye energeticheskoye sredstvo klassa 0,6-0,9 [Substantiation of the requirements for a mobile energy device of class 0.6-0.9]. *Tekhnicheskii servis mashin*. 2020. N3(140). 57-66 (In Russian).

11. Lavrov A., Smirnov I., Litvinov M. Justification of the construction of a self-propelled selection seeder with an intelligent seeding system. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 224. 05011 (In English).

12. Lavrov A., Shevtsov V., Sidorov M. Algorithm of adaptation results tractors tractive tests based on systems OECD and ISO. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 126. 00035 (In English).

13. Sidorov V.N., Loktik O.V., Sidorov M.V. Povysheniye proizvoditel'nosti mashinno-traktornogo agregata primeneniem promezhutochnogo energeticheskogo modulya [Increasing the productivity of the machine-tractor unit by using an intermediate energy module]. *Konstruirovaniye, ispol'zovaniye i nadezhnost' mashin sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya*. 2002. N1(1). 112-115 (In Russian).

14. Sidorov V.N., Sidorov M.V., Kut'kov G.M. Raschet moshchnosti dvigatelya i vesa traktora tyagovo-energeticheskoy kontseptsii [Calculation of engine power and weight of a towing pow-

er concept tractor]. *Elektronnyy zhurnal: Nauka, tekhnika i obrazovanie*. 2016. N2(6). 37-46 (In Russian).

15. Gribov I.V., Perevozchikova N.V. Moshchnost' – osnovnoy pokazatel' dlya traktora tyagovo-energeticheskoy kontseptsii [Power as the main indicator for a tractor of tractive force-and-output concept]. *Tekhnika i tekhnologii APK*. 2017. N5. 18-21 (In Russian).

16. Kut'kov G.M. Issledovaniya modul'nogo energotekhnologicheskogo sredstva [Research into modular power-processing means]. *Traktory i sel'skhozaystvennye mashiny*. 1989. N12. 3-9. (In Russian)

17. Solov'ev R.Yu., Cheranov S.V., Karyakin S.B., Kolomeychenko A.V., Gribov I.V. Aktual'nost' razrabotki vysokotekhnologichnykh traktorov tyagovykh klassov 0,6-2 [The relevance of developing of high-tech tractors of traction classes 0.6-2]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2019. N11(269). 14-17 (In Russian).

18. Kut'kov G.M. Traktory i avtomobili. Teoriya i tekhnologicheskie svoystva [Tractors and cars. Theory and technological properties]. Moscow: KolosS. 2004. 505 (In Russian).

19. Berezhnov N.N., Averichev L.V. Obosnovanie energonasyshchennosti kolesnogo traktora po dannym kontrol'nogo dinamometrirovaniya agregata [Justification of power/ weight ratio of a wheel tractor on the basis of data of control dynamometer test of the aggregate]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2018. Vol. 32. N12. 76-81 (In Russian).

20. Berezhnov N. Traction-speed properties of wheeled mobile power equipment for agricultural purposes. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. *12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, INTERAGROMASH*. 2019. 012038 (In English).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 20.04.2021
The paper was submitted
to the Editorial Office on 20.04.2021

Статья принята к публикации 25.05.2021
The paper was accepted
for publication on 25.05.2021

Разработка системы точечного внесения жидких средств химизации на основе моделей сверточной нейронной сети

Виктория Сергеевна Семенюк¹,
студент-магистр,
e-mail: viktoriya.semenyuk.98@mail.ru;

Евгений Александрович Никитин²,
аспирант, младший научный сотрудник,
e-mail: evgeniy.nicks@yandex.ru

¹Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Российская Федерация;

²Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Показали, что одна из причин потери урожая – некачественное определение степени пораженности сельскохозяйственных культур патогенами. Предложили систему точечного внесения жидких средств химизации. Выявили возможность расчета необходимого объема удобрений и средств защиты. (*Цель исследования*) Разработать систему точечного внесения жидких средств для защиты и питания растений на основе модели сверточной нейронной сети. (*Материалы и методы*) Провели анализ существующих архитектур и методов машинного обучения. При разработке системы использовали U-net-алгоритм сверточных нейронных сетей, а также данные, отображающие заболевания озимой и яровой пшеницы – бурую ржавчину и мучнистую росу. Каждое изображение кадрировали вручную и размечали с помощью специализированной Python-библиотеки. В ходе применения архитектуры экспериментальным путем выбрали оптимальные метрики (*jaccard metric*), скорость обучения – 0,0001 секунды, количество эпох – 300, а также другие показатели. (*Результаты и обсуждение*) Установили, что при подаче алгоритму нового, ранее не доступного изображения, он за несколько секунд распознает болезнь и возвращает пользователю не только исходное изображение, но и маску поверх него. Определили точность наложения маски на больной участок – 80 процентов. Показали, что прогнозируемая ошибка на валидационных данных составила 0,18758. На практике она может отличаться от заявленной не более чем на 10-15 процентов. Предложили использовать алгоритм с системой технического зрения. (*Выводы*) Показали, что несовершенство технических средств для химизации растений повышает расход до 30 процентов относительно объема, необходимого для точечного внесения. Разработали нейросетевой алгоритм для определения пораженных участков растений и предложили концепцию точечного внесения средств химизации растений с целью сокращения затраты при обработке посевов. Определили, что нейросеть способна диагностировать пораженные участки растений за 1 секунду.

Ключевые слова: точечное внесение удобрений, внесения средств защиты растений, сверточная нейронная сеть, машинное обучение, искусственный интеллект.

Для цитирования: Семенюк В.С., Никитин Е.А. Разработка системы точечного внесения средств химизации на основе модели сверточной нейронной сети // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. №2. С. 41-45. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-41-45.

System Development for Liquid Chemicals Point Injection Based on Convolutional Neural Network Models

Victoria S. Semenyuk¹,
master's student,
e-mail: viktoriya.semenyuk.98@mail.ru;

Evgeniy A. Nikitin²,
postgraduate student, junior researcher,
e-mail: evgeniy.nicks@yandex.ru

¹National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russian Federation;

²Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The authors showed that one of the reasons for the yield loss is poor-quality determination of the infection degree of agricultural crops by pathogens. They proposed a system of liquid chemicals point application. They identified the possibility of calculating the required amount of fertilizers and protective equipment. (*Research purpose*) To develop a system of liquid chemicals point application for plant protection and nutrition based on a convolutional neural network model. (*Materials and methods*) The authors analyzed the existing methods of machine learning. When developing the system, they used the U-net-algorithm of convolutional neural networks, as well as data displaying diseases of winter and spring wheat – brown rust and powdery mildew. Each image was cropped by hand and marked up using a specialized Python library. In the course of applying

the architecture, the authors experimentally chose the optimal metrics (jaccard metric), the learning rate – 0.0001 seconds, the number of epochs – 300, and other indicators. (*Results and discussion*) The authors found that when a new, previously unavailable image was submitted to the algorithm, it recognized the disease in a few seconds and returned to the user not only the original image, but also a mask over it. The accuracy of applying the mask to the affected area was determined – 80 percent. They showed that the predicted error on the validation data was 0.18758. In practice, it could differ from the declared one by no more than 10–15 percent. The authors suggested using the algorithm with a vision system. (*Conclusions*) The authors showed that technical means imperfection for plants chemicalization increased the consumption up to 30 percent relative to the volume required for point application. They developed a neural network algorithm for identifying the affected areas of plants and proposed the concept of a point chemicals application in order to reduce the costs of processing crops. It was determined that the neural network was able to diagnose the affected areas of plants in 1 second.

Keywords: point fertilization, plant protection products application, convolutional neural network, machine learning, artificial intelligence.

For citation: Semenyuk V.S., Nikitin E.A. Razrabotka sistemy tochechnogo vneseniya sredstv khimizatsii na osnove modeli svertochnoy neyronnoy seti [System development for liquid chemicals point injection based on convolutional neural network models]. *Sel'skokhozyaistvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. T. 15. N2. 41–45 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-41-45.

Потери урожая от вредителей и болезней, а также вследствие неблагоприятных климатических воздействий, сдерживают развитие растениеводства. Для снижения ущерба аграрии активно применяют химические средства защиты растений, внесение которых допустимо только при проведении предварительного обследования сельскохозяйственных угодий (согласно пункту 2.19 СанПиН 1.2.2584-10) [1]. Традиционно методика определения пораженности культур болезнями предусматривает большие затраты на работу агрономической службы. Немалая часть денежных средств расходуется на удобрения, внесение которых также зависит от степени поражения культур, спелости и других факторов [2, 3].

Российский и зарубежный опыт показал, что применение различных средств автоматизации технологических процессов растениеводства (систем параллельного вождения, дистанционного зондирования сельхозугодий, картирования посевных площадей) существенно повышает производительность труда и качество выполнения циклических операций [4, 5].

Уровень технологического развития систем технического зрения позволяет определять цветность и топологию объектов сканирования объектов с площадью анализа до 1 мм² [6, 7].

Метод диагностики заболеваний растений предусматривает использование системы технического зрения для определения оптимального количества химикатов (средств защиты растений и удобрений). Система опрыскивания на основе полученных данных помогает вносить их точно [8, 9]. Для потенциально здорового растения такие системы могут рассчитать объем внесения удобрений в зависимости от стадии созревания [10, 11].

В основе системы технического зрения заложен *U-net*-алгоритм сверточной нейронной сети. Он способен определять степень пораженности сельхозкультур и управлять каждой форсункой, установленной на

штанге опрыскивателя. Тем самым растение получает необходимое количество удобрений для дальнейшего роста или порцию средств защиты растений для уменьшения степени поражений [12–14].

Цель исследования – разработать систему точечного внесения жидких средств для защиты и питания растений на основе модели сверточной нейронной сети.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Изучили материалы международных выставок отрасли, сайты ведущих производителей современных технических, разработчиков технологических решений для растениеводства. Провели анализ существующих архитектур и методов машинного обучения.

Результаты и обсуждение. Большинство широкозахватных машин для внесения удобрений вносят одинаковое количество жидкости по всей обрабатываемой поверхности за один проход. Поэтому разработка предлагаемого метода внесения средств на основе сверточных нейронных сетей позволит существенно повысить технологическую эффективность и оптимизировать затраты на средства химизации растений и обеспечит их точечное внесение в соответствии со степенью поражения каждого микроучастка растения. Предложенный нами метод состоит в том, чтобы вносить жидкие средства соответственно степени распространения патогена.

Первой культурой для анализа стала пшеница как наиболее распространенная культура.

Для распознавания болезней на листьях выбрали архитектуру семантической сегментации изображений *U-net* (рис. 1). При ее использовании, в отличие от аналогов *E-net* и *FCN*, для получения результатов достаточно небольшого количества изображений. Такое преимущество возможно благодаря проведению аргументации (искажение исходного изображения по какому-либо паттерну).

U-net-архитектура состоит из сужающего пути

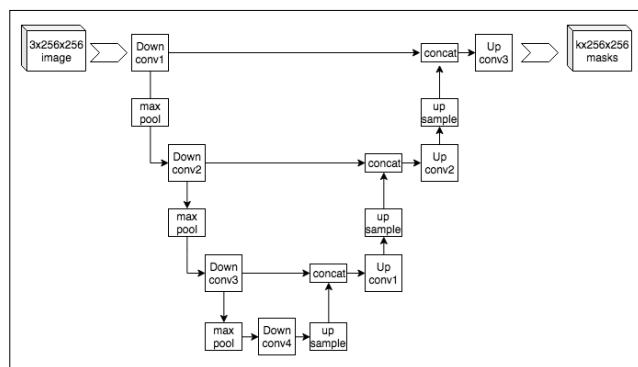


Рис. 1. Архитектура сверточных нейронных сетей U-net
Fig. 1. Convolutional neural networks U-net architecture

(слева) и расширяющего (справа). Она принимает размеченное изображение в разрешении 256×256 ($3 \times 256 \times 256$ image). На пути свертки изображение преобразуется в пиксели: используется свертка вниз (англ. *down convolution*) и уплотнение признаков (англ. *max pooling*), с которыми будет взаимодействовать компьютер для определения больного участка. На пути расширения архитектура разворачивает изображения (англ. *up convolution*) и производит процесс, обратный уплотнению (англ. *up sample*). В результате пользователю доступна маска поверх изображения ($k \times 256 \times 256$ masks).

Подготовка данных для сети включала кадрирование до размера 256×256 пикселей и разметку изображений. В соответствии с болезнями выделены два класса:

- мучнистая роса;
- бурая ржавчина.

Разметка изображений необходима для создания масок сверточной нейронной сети U-net (рис. 2).



Рис. 2. Разметка листа пшеницы, пораженного бурой ржавчиной
Fig. 2. Marking a wheat leaf affected by leaf rust

С помощью программного кода *json*-разметка изображений преобразована в маски формата *.jpg*, где синий цвет соответствует мучнистой росе, зеленый – бурой ржавчине (рис. 3).

При создании модели использовали следующие параметры:

- количество эпох – 300;
- скорость обучения нейронной сети 0.0001;
- размер батчей – 1;

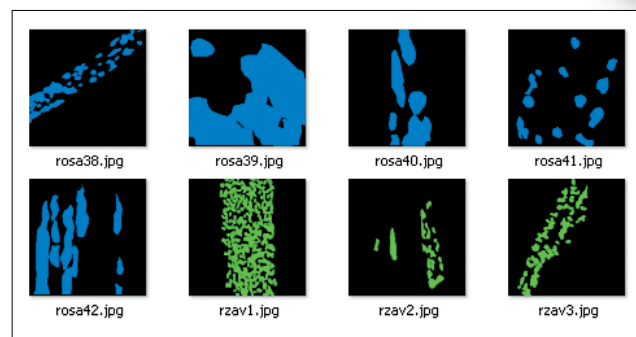


Рис. 3. Маски болезней пшеницы
Fig. 3. Wheat disease masks

- метрики качества оценки сегментации – *jaccard metric*;
- число параллельно обрабатываемых изображений – 6;
- функция ошибки – ФокалЛосс (*FocalLoss*).

Метрику качества для оценки сегментации *jaccard metric* рассчитывают по формуле:

$$Jacc(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} = \frac{|A \cap B|}{|A| + |B| - |A \cap B|},$$

где A – первое множество;

B – второе множество;

$A \cap B$ – пересечение множеств;

$A \cup B$ – объединение множеств.

При выборе функции ошибки рассмотрели несколько вариантов. Среди них самые успешные – *BinaryLoss* и *FocalLoss* с лучшими результатами на тестовой выборке 0,37324 и 0,00358 соответственно.

В процессе обучения модели выявляются ошибки на обучающих и валидационных данных (рис. 4).

Эпоха 1 Period 1	Эпоха 20 Period 20	Эпоха 150 Period 150	Эпоха 300 Period 300
loss = 0.05878 Valid loss: 0.08159	loss = 0.04056 Valid loss: 0.06113	loss = 0.02676 Valid loss: 0.04021	loss = 0.00358 Valid loss: 0.18758

Рис. 4. Значения ошибок при обучении модели в разных эпохах
Fig. 4. Errors values when training the model in different periods

Проходя каждую эпоху, модель становится более точной, отсекая шум (он становится черным) и отражая сверху маску. Параметр *loss* показывает ошибку при обучении на тестовых данных, *Valid loss* – на валидационных. Если применить модель к валидационным данным, то точность предсказания превысит 80%.

Рассмотрим результаты работы алгоритма. При обработке изображений он накладывает маску на картинку, выделяя синим цветом мучнистую росу и зеленым – бурую ржавчину (рис. 5). Для более точного про-

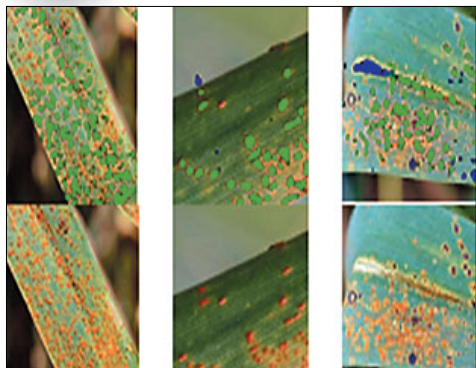


Рис. 5. Диагностика заболевания пшеницы с применением алгоритма U-net на примере мучнистой росы и бурой ржавчины: сверху – результат диагностики; внизу – исходное изображение
Fig. 5. Diagnosis of wheat disease with the U-net algorithm using powdery mildew and brown rust as an example: at the top – the diagnostic result; below is the original image

гноза рекомендуется использовать фотографии высокой точности, так как блики из-за характерного белого цвета и округлой формы могут быть ошибочно распознаны как мучнистая роса. Разработанный алгоритм определения заболевания растений с использованием системы технического зрения планируется задействовать в структуре технического средства (рис. 6).

Полученные данные о степени поражения растений, обрабатываемые блоком автоматического управления, могут послужить основой для управления множеством форсунок, установленных на штанге опрыскивателя. Изменяя напряжение и количество подаваемых импульсов, можно регулировать усилие запорной пружины и расход средств химизации.

Взаимодействие продемонстрированного алгоритма и структуры технических средств способствует решению ключевых проблем растениеводства:

- высокий расход средств защиты и удобрений при машинной обработке сельскохозяйств;
- неверное выявление и диагностирование болезней злаковых;
- ограниченный функционал отечественных машин по обработке растений средствами защиты.

Выводы. Проведенный анализ отрицательных факторов в растениеводстве показал, что несовершенство

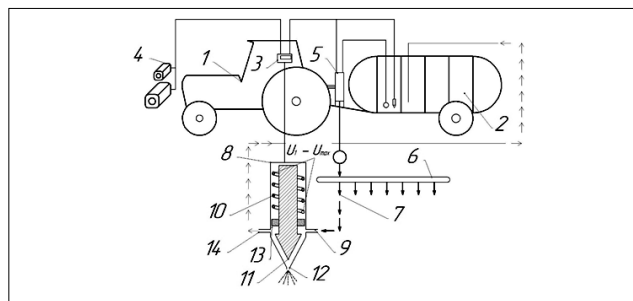


Рис. 6. Система опрыскивания растений: 1 – энергетическое средство; 2 – емкость для средств химизации; 3 – блок автоматического управления; 4 – система технического зрения с TOF-камерой и камерой определения цветности растений; 5 – насос; 6 – штанга опрыскивателя с коллектором; 7 – множество выходных отверстий (определяется количеством форсунок и шириной обработки за один проход энергетического средства); 8 – форсунка; 9 – входной клапан форсунки; 10 – запорная пружина с регулируемым усилием; 11 – запорный конус форсунки; 12 – сопло; 13 – запорное кольцо; 14 – клапан обратного тока
Fig. 6. Plant spraying system: 1 – energy means; 2 – container for chemicals; 3 – automatic control unit; 4 – a technical vision system with a TOF camera and a camera for determining the plants color; 5 – pump; 6 – sprayer boom with a manifold; 7 – a plurality of outlet openings (determined by the nozzles number and the processing width in one pass of the power tool); 8 – nozzle; 9 – injector inlet valve; 10 – locking spring with adjustable force; 11 – nozzle shut-off cone; 12 – orifice; 13 – locking ring; 14 – reverse flow valve

технических средств для химизации растений повышает расход до 30% относительно объема, необходимого для точечного внесения.

Разработанный нейросетевой алгоритм для определения пораженных участков растений и предложенная концепция точечного внесения средств химизации растений позволит сократить затраты при обработке посевов. Эксперимент показал, что нейросеть способна диагностировать пораженные участки растений за 1 секунду.

Исследование проводится при поддержке Фонда содействия инновациям по договору № 524ГУЦЭС8-D3/61976 от 05.10.2020 года

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Шогенов Ю.Х. Развитие интенсивных машинных технологий, роботизированной техники, эффективного энергообеспечения и цифровых систем в агропромышленном комплексе // *Техника и оборудование для села*. 2019. N6(264). С. 2-9.
2. Дорохов А.С., Новиков Н.Н., Митрофанов С.В. Интеллектуальная технология формирования системы удобрения // *Техника и оборудование для села*. 2020. N7 (277). С. 2-5.
3. Abubakar Auwal, Zin Hafiz M. Characterisation of Time-of-Flight (ToF) imaging system for application in monitoring deep inspiration breath-hold radiotherapy (DIBH-RT). *Biomedical physics & engineering express*. 2020.Vol. 6. Iss. 6. 065032.
4. Debrah D.A., Stewart G.A., Basnayake G. et al. Developing a camera-based 3D momentum imaging system capable of 1 Mhits/s. *Review of scientific instruments*. 2020. Vol. 91. Iss. 2. 023316.
5. Satorres M.S., Sanchez G.A., Estevez E.E. 3D object recognition for anthropomorphic robots performing tracking tasks. *International journal of advanced manufacturing technology*. 2020. Vol. 104. N1-4. 1403-1412.
6. Chen Y.C., Weng W.C., Lin S.W. A High Reliability 3D Object Tracking Method for Robot Teaching Application. 4th International Conference on Precision Machinery and Manufac-

turing Technology (ICPMMT). 2019. 012007.

7. Li F., Chen H., Pediredla A. CS-ToF: High-resolution compressive time-of-flight imaging. *Optics express*. 2017. Vol. 25. Iss. 25. 31096-31110.

8. Сибирев А.В., Дорохов А.С., Аксенов А.Г. Цифровизация машинной технологии уборки лука искусственными нейронными сетями // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019. Т. 20. №1. С. 84-91.

9. Сибирев А.В. Моделирование технологического процесса работы сельскохозяйственной машины искусственными нейронными сетями // *Вестник биотехнологии*. 2019. №1 (18). С. 6.

10. Watanabe S., Sumi K., Ise T. Identifying the vegetation type in Google Earth images using a convolutional neural network: a case study for Japanese bamboo forests. *BMC Ecology*. 2020. Vol. 20. Article 65.

11. Bagheri M., Al-Jabery K., Wunsch D., Burken J.G. Examining plant uptake and translocation of emerging contaminants using machine learning: Implications to food security. *Science of the total environment*. 2020. Vol. 698. Article 133999.

12. Younis S., Schmidt M., Weiland C., Dressler S., Seeger B., Hickler T. Detection and annotation of plant organs from digitised herbarium scans using deep learning. *Biodiversity data journal*. 2020. N8(10). Article e57090.

13. Семенюк В.С., Никитин Е.А. Основные направления государственной поддержки аграрного сектора экономики // *Наука без границ*. 2019. №1(29). С. 5-9.

14. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С., Бейлис В.М. Создание и развитие систем машин и технологий для комплексной механизации технологических процессов в растениеводстве // *История науки и техники*. 2019. №12. С. 46-55.

REFERENCES

1. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Shogenov Yu.Kh. Razvitie intensivnykh mashinnykh tekhnologiy, robotizirovannoy tekhniki, effektivnogo energoobespecheniya i tsifrovyykh sistem v agropromyshlennom komplekse [Development of intensive machine technologies, robotic technology, efficient energy supply and digital systems in the agro-industrial complex]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2019. №6(264). 2-9 (In Russian).

2. Dorokhov A.S., Novikov N.N., Mitrofanov S.V. Intellectuall'naya tekhnologiya formirovaniya sistemy udobreniya [Intelligent technology of forming a fertilizer system]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2020. №7(277). 2-5 (In Russian).

3. Abubakar Auwal, Zin Hafiz M. Characterisation of Time-of-Flight (ToF) imaging system for application in monitoring deep inspiration breath-hold radiotherapy (DIBH-RT). *Biomedical Physics & Engineering Express*. Vol. 6. Iss. 6, 2020. 065032 (In English).

4. Debrah Duke A., Stewart Gabriel A., Basnayake Gihan. Developing a camera-based 3D momentum imaging system capable of 1 Mhits/s. *Review Of Scientific Instruments*. Vol. 91. Iss. 2. 023316. 2020 (In English).

5. Satorres Martinez S., Sanchez Garcia A., Estevez Estevez E. 3D object recognition for anthropomorphic robots performing tracking tasks. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol. 104. №1-4. 2020. 1403-1412 (In English).

6. Chen Yan-Chun, Weng Wei-Chan, Lin Shi-Wei. A High Reliability 3D Object Tracking Method for Robot Teaching Application. 4th International Conference on Precision Machinery and Manufacturing Technology (ICPMMT). 2019.

7. Li Fengqiang, Chen Huaijin, Pediredla Adithya. CS-ToF: High-resolution compressive time-of-flight imaging. *Optics Express*. Vol. 25. Iss. 25. 2017. 31096-31110 (In English).

8. Sibiriyov A.V., Dorokhov A.S., Aksenov A.G. Tsifrovizatsiya

mashinnoy tekhnologii uborki luka iskusstvennymi neyronnymi setyami [Digitalization of machine technology for harvesting onions with artificial neural networks]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2019. Vol. 20. №1. 84-91 (In Russian).

9. Sibiriyov A.V. Modelirovanie tekhnologicheskogo protsessa raboty sel'skhozayastvennoy mashiny iskusstvennymi neyronnymi setyami [Modeling the technological process of the agricultural machine with artificial neural networks]. *Vestnik biotekhnologii*. 2019. №1(18). 6 (In Russian).

10. Watanabe S., Sumi K., Ise T. Identifying the vegetation type in Google Earth images using a convolutional neural network: a case study for Japanese bamboo forests. *BMC Ecology*. 2020. Vol. 20. Article 65 (In English).

11. Bagheri M., Al-jabery K., Wunsch D., Burken J.G. Examining plant uptake and translocation of emerging contaminants using machine learning: Implications to food security. *Science of the total environment*. 2020. Vol. 698. Article 133999 (In English).

12. Younis S., Schmidt M., Weiland C., Dressler S., Seeger B., Hickler T. Detection and annotation of plant organs from digitised herbarium scans using deep learning. *Biodiversity Data Journal*. 2020. Vol. 8. Article e57090 (In English).

13. Semenyuk V.S., Nikitin E.A. Osnovnye napravleniya gosudarstvennoy podderzhki agrarnogo sektora ekonomiki [The main directions of state support for the agrarian sector of the economy]. *Nauka bez granits*. 2019. №1(29). 5-9 (In Russian).

14. Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S., Beylis V.M. Sozdanie i razvitie sistem mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii tekhnologicheskikh protsessov v rastenivodstve [Creation and development of systems of machines and technologies for complex mechanization of technological processes in crop production]. *Istoriya nauki i tekhniki*. 2019. №12. 46-55 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

**Статья поступила в редакцию 25.01.2021
The paper was submitted
to the Editorial Office on 25.01.2021**

**Статья принята к публикации 07.04.2021
The paper was accepted
for publication on 07.04.2021**

Полевые исследования культиватора-удобрителя с системой дифференцированного внесения минеральных удобрений

Алексей Иванович Дерепаскин¹,
доктор технических наук,
заведующий лабораторией,
e-mail: celinnii@mail.ru;

Антон Николаевич Куваев¹,
заведующий лабораторией,
e-mail: kuvaevanthon@yandex.ru;
Иван Владимирович Токарев²,
докторант, e-mail: tokarev_ivan.v@mail.ru

¹Костанайский филиал Научно-производственного центра агроинженерии, г. Костанай, Республика Казахстан;

²Костанайский региональный университет имени А.Байтурсынова, г. Костанай, Республика Казахстан

Реферат. Провели полевые исследования системы дифференцированного внесения удобрений «Агронавигатор-дозатор», установленной на культиватор-удобритель для внутрипочвенного внесения гранулированных минеральных удобрений в условиях Северного Казахстана. (*Цель исследований*) Определить влияние системы дифференцированного внесения удобрений на агротехнические, энергетические, эксплуатационно-технологические и экономические показатели работы культиватора-удобрителя в производственных условиях. (*Материалы и методы*) Выполнили агрохимическое обследование почвы по официально утвержденной методике. Составили электронную карту-задание. Использовали методику определения условий производственных испытаний, агротехнической, энергетической, эксплуатационно-технологической и энергетической оценок, соответствующую требованиям действующей нормативной документации. Производственные испытания системы дифференцированного внесения удобрений проводили в ходе второй плоскорезной обработки парового поля с одновременным внутрипочвенным внесением гранулированных минеральных удобрений. (*Результаты и обсуждение*) Выявили, что применение системы дифференцированного внесения удобрений «Агронавигатор-дозатор» сократило фактическую дозу внесения с 95 до 40 килограммов на гектар. Определили, что наличие в исследуемой системе режима параллельного вождения уменьшило величину перекрытия смежных проходов, благодаря чему повысилась сменная производительность – с 4,25 до 4,32 гектара в час, удельные затраты энергии сократились с 88,1 до 86,6 мегаджоуля на гектар, а удельный расход топлива снизился с 14,41 до 14,16 килограмма на гектар. Экономический эффект от применения системы дифференцированного внесения удобрений «Агронавигатор-дозатор» составил 630,6 тысячи рублей в год. (*Выводы*) Доказали, что основное влияние система дифференцированного внесения удобрений «Агронавигатор-дозатор» оказала на фактическую дозу внесения удобрений, которая уменьшилась на 57,6 процента. Установили, что снижение величины перекрытия смежных проходов повысило сменную производительность, снизило удельный расход топлива и удельные затраты энергии на 1,7 процента. Рассчитали, что совокупные затраты денежных средств благодаря применению системы дифференцированного внесения удобрений «Агронавигатор-дозатор» сократились на 36 процентов.

Ключевые слова: система дифференцированного внесения удобрений, полевые исследования, культиватор-удобритель, минеральные удобрения, доза внесения удобрений, экономическая эффективность.

Для цитирования: Дерепаскин А.И., Куваев А.Н., Токарев И.В. Полевые исследования культиватора-удобрителя с системой дифференцированного внесения минеральных удобрений // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. №2. С. 46-52. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-46-52.

Cultivator-Fertilizer Field Tests Using a Differential Fertilization System

Alexey I. Derepaskin¹,
Dr.Sc.(Eng.), head of the laboratory,
e-mail: celinnii@mail.ru;
Anton N. Kuvaev¹,
head of the laboratory,
e-mail: kuvaevanthon@yandex.ru;

Ivan V. Tokarev²,
doctoral student,
e-mail: tokarev_ivan.v@mail.ru

¹Kostanay branch of the Scientific Production Center of Agricultural Engineering, Kostanay, Republic of Kazakhstan;

²A. Baitursynov Kostanay Regional University, Kostanay, Republic of Kazakhstan

Abstract. The authors carried out field tests of differentiated fertilization system "Agronavigator-Dozator" installed on a cultivator-fertilizer for intra-soil application of granular mineral fertilizers in the conditions of Northern Kazakhstan. (*Research purpose*) To determine the effect of differentiated fertilization system on agrotechnical, energy, operational and technological and economic indexes of the cultivator-fertilizer in field conditions. (*Materials and methods*) The authors carried out agrochemical soil survey according to the officially approved method. They made an electronic task map. They used the methodology for determining the conditions of field tests, agrotechnical, energy, operational and technological and energy assessments that met the current regulatory documentation requirements. Field tests of differentiated fertilization system were carried out during the second flat-cut processing of the steam field with simultaneous intra-soil granular mineral fertilizers application. (*Results and discussion*) The authors found out that the use of differentiated fertilization system "Agronavigator-Dozator" reduced the actual dose of application from 95 to 40 kilograms per hectare. It was determined that the presence of a parallel driving mode in the system under study reduced the amount of overlap of adjacent aisles, thereby increasing shift productivity - from 4.25 to 4.32 hectares per hour, unit energy consumption decreased from 88.1 to 86.6 megajoules per hectare, and the specific fuel consumption decreased from 14.41 to 14.16 kilograms per hectare. The economic effect of the use of differentiated fertilization system "Agronavigator-Dozator" amounted to 630.6 thousand rubles per year. (*Conclusions*) The authors proved that differential fertilization system "Agronavigator-Dozator" effect the actual dose of fertilization, which decreased by 57.6 percent. It was found that a decrease in the overlap of adjacent aisles increased shift productivity, reduced specific fuel consumption and specific energy consumption by 1.7 percent. It was calculated that the total sum of money was reduced by 36 percent due to the use of differentiated fertilization system "Agronavigator-Dozator".

Keywords: differentiated fertilization system, field tests, cultivator-fertilizer, mineral fertilizers, fertilizer application rate, economic efficiency.

For citation: Derpaskin A.I., Kuvaev A.N., Tokarev I.V. Polevye issledovaniya kul'tivatora-udobritelya s sistemoy differentsirovannogo vneseniya mineral'nykh udobreniy [Cultivator-fertilizer field tests using a differential fertilization system]. *Sel'skokhozyaistvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N2. 46-52 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-46-52.

Учитывая мировые тенденции по внедрению цифровых технологий в различные отрасли экономики, в Республике Казахстан приняли Государственную программу «Цифровой Казахстан». Одна из ее основных задач – внедрение геоинформационных систем в сельское хозяйство, или так называемого точного земледелия с целью получения максимально возможного урожая и экономической выгоды при минимизации финансовых вложений и воздействия на окружающую среду. Подтверждение экономической и экологической эффективности внедрения технологий точного земледелия можно найти в работах зарубежных [1-3] и российских исследователей [4-6]. В частности, использование технологий точного земледелия обеспечивает рост урожайности, повышение окупаемости удобрений в 1,5-1,7 раза, снижение агрохимической нагрузки на окружающую среду на 35,60% [6].

Центральное место в точном земледелии занимает технология дифференцированного внесения удобрений (ДВУ), которая позволяет изменять дозу удобрений на различных участках поля в зависимости от потенциального плодородия [7-9]. Ученые России и Казахстана активно работают над созданием как технологических основ ДВУ, так и соответствующих технических средств. Например, разработан алгоритм оценки точности геоинформационных систем при дифференцированном внесении удобрений [10]. Имеется технология ДВУ для беспилотных летательных

аппаратов [11]. Предложена методика создания электронных карт-заданий, необходимых для географической привязки доз внесения удобрений к элементарным участкам поля [12]. Обоснованы параметры дозирующего устройства [13]. Созданы рабочие органы для внутрисочвенного внесения минеральных удобрений, электронная схема системы ДВУ [14, 15].

В Костанайском филиале ТОО «НПЦ агроинженерии» в рамках выполнения прикладных научных исследований в области агропромышленного комплекса проводили работы по выбору и адаптации системы ДВУ с применением имеющихся машин для выполнения данной технологической операции.

На предыдущих этапах исследований мы выбрали оптимальную систему ДВУ – «Агронавигатор-Дозатор» [16]. Она состоит из навигационного комплекса с монтажным устройством, ГЛОНАСС/GPS антенны, исполнительных механизмов (актуаторов), кабелей питания и связи. Проверили работоспособность указанной системы ДВУ на машине для внутрисочвенного внесения гранулированных минеральных удобрений в лабораторных условиях. Установили, что система обеспечивает автоматическую регулировку дозы внесения удобрений в соответствии с электронной картой-заданием с отклонением фактической дозы от заданной на уровне 2,1-5,0%, что соответствует установленным агротехническим требованиям.

Для получения информации о работоспособности системы ДВУ «Агронавигатор-дозатор» в полевых ус-

ловиях провели производственные испытания в ТОО «НПЦЗХ им. Бараева» Акмолинской области.

Систему ДВУ установили на культиватор-удобритель для внутрипочвенного внесения минеральных удобрений (рис. 1).



Рис. 1. Культиватор-удобритель для внутрипочвенного внесения минеральных удобрений (общий вид)

Fig. 1. Cultivator-fertilizer for intra-soil application of mineral fertilizers (general view)

Его технические характеристики:

- способ агрегатирования – прицепной;
- конструктивная ширина захвата – 7,2 м;
- тип рабочих органов – плоскорезный;
- количество рабочих органов – 13 ед.;
- объем бункеров – 2 м³;
- рабочая скорость – 7-9 км/ч.

Цель исследования – определить влияние системы ДВУ «Агронавигатор-дозатор» на агротехнические, энергетические, эксплуатационно-технологические и экономические показатели работы культиватора-удобрителя в производственных условиях.

Материалы и методы. Система ДВУ обеспечивает выполнение технологии в соответствии с электронной картой-заданием, составленной по результатам агрохимического обследования почвы. Поле, подлежащее агрохимическому анализу (паровое поле), разделили на 76 элементарных участков площадью 5 га каждый.

Агрохимическое обследование почвы проводилось аккредитованной испытательной лабораторией в соответствии с «Правилами проведения агрохимического обследования почв».

Требуемую дозу азотсодержащих удобрений для каждого элементарного участка рассчитали по формуле:

$$D_{N_{\text{кг.д.в.}(i)}} = (N_{\text{опт}} - N_{\text{факт}}) \cdot K, \quad (1)$$

где $D_{N_{\text{кг.д.в.}}}$ – требуемая доза удобрений, кг д.в./га;

$N_{\text{опт}}$ – оптимальное содержание $N\text{-}NO_3$ в почве, мг/кг почвы ($N_{\text{опт}} = 12$ мг/кг почвы);

$N_{\text{факт}}$ – фактическое содержание $N\text{-}NO_3$ в почве i -го

элементарного участка, мг/кг почвы;

K – эквивалент азотных удобрений, необходимый для восполнения в почве 1 мг $N\text{-}NO_3$, кг почвы·кг д.в./мг·га ($K = 7,5$ кг почвы·кг д.в./мг·га).

В ходе испытаний использовали методику оценки условий испытаний – по ГОСТ 20915, методику оценки агротехнических показателей – по ГОСТ 33687 и ГОСТ 28714, методику энергетической оценки – по ГОСТ Р 52777, эксплуатационно-технологическую оценку – по ГОСТ 24055, оценку экономической эффективности – по СТ РК ГОСТ Р 53056.

Результаты и обсуждение. Элементарные участки поля распределили по классам в соответствии с обеспеченностью почвы подвижными формами питательных (рис. 2).

По степени обеспеченности P_2O_5 48 элементарных участков (63%) относятся к I и II классам (очень низкая и низкая) – 0-30 мг/кг почвы; 9 участков (12%) – к III классу (средняя или оптимальная) – 30-100 мг/кг почвы; 19 участков (25%) – к IV классу (повышенная) – более 100 мг/кг почвы.

По степени обеспеченности $N\text{-}NO_3$ 31 элементарный участок (41%) относится к I и II классам (очень низкая и низкая) – 0-12 мг/кг почвы; 19 участков (25%) – к III классу (средняя или оптимальная) – 12-20 мг/кг почвы; 26 участков (34%) – к IV классу (повышенная) – более 20 мг/кг почвы.

В качестве источника азотных удобрений использовали аммиачную селитру с содержанием азота в сухом веществе 34%. Дифференцированная доза внесения в зависимости от обеспеченности элементарных участков $N\text{-}NO_3$ составляла:

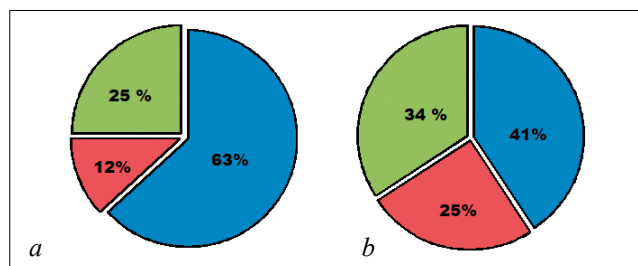
- для участков I и II классов – 10,4-83,2 кг д.в./га (30-240 кг физического веса);
- для участков III и IV классов – 0 кг д.в./га.

При сплошном внесении без использования системы ДВУ в качестве базового варианта для сравнения применяли этот же культиватор-удобритель, работающий в идентичных условиях с отключенной системой ДВУ. Доза внесения была постоянной и составила 32,8 кг д.в./га (95 кг физического веса).

В качестве энергетического средства задействовали трактор «Кировец» К-744Р2 тягового класса 6 (рис. 3). На агрегат установили компоненты системы ДВУ (рис. 4).

Производственные испытания проводили на этапе второй плоскорезной обработки парового поля с одновременным внутрипочвенным внесением гранулированных минеральных удобрений. Сначала паровое поле обработали гербицидами. Основной вид сорняков представлен осотом, полынью и полевым вьюнком. Засоренность почвы сорняками составила 19 шт/м², пожнивными остатками – 51 шт/м².

Механический состав почвы представлен тяжелыми суглинками, тип почв – южный чернозем. Средняя твердость почвы в слое 0-20 см составила 3,2 МПа,



- участки I и II класса (низкая обеспеченность)
areas of I and II class (low supply)
- участки III класса (средняя обеспеченность)
area of III class (average supply)
- участки IV класса (повышенная обеспеченность)
area of IV class (increased supply)

Рис. 2. Распределение элементарных участков поля по степени обеспеченности почвы подвижными формами питательных веществ:

Fig. 2. Distribution of elementary field areas according to the degree of soil supply with mobile forms of nutrients:

a – P_2O_5 ; b – $N-NO_3$

влажность – 13,7%, плотность – 1,3 г/см³.

Результаты сравнительной агротехнической оценки представлены в таблице 1, энергетической – в таблице 2, эксплуатационно-технологической – в таблице 3.

Агротехническая оценка показала, что по всем перечисленным показателям агрегат «Агронавигатор-дозатор», оснащенный системой ДВУ, обеспечивает качество выполнения технологического процесса в соответствии с требованиями нормативного документа (табл. 1). Система ДВУ из всех перечисленных по-



Рис. 3. Агрегат, состоящий из трактора «Кировец» К-744Р2 и культиватора-удобрителя, оборудованного системой ДВУ
Fig. 3. A unit consisting of the Kirovets K-744R2 tractor and a cultivator-fertilizer equipped with a differentiated fertilization system



Рис. 4. Общий вид компонентов системы ДВУ:

a – навигационный комплекс «Агронавигатор плюс»;

b – ГЛОНАСС/GPS антенна; c – актуатор

Fig. 4. General view of the components of differentiated fertilization system: a – navigation complex "Agronavigator plus";

b – GLONASS/GPS antenna; c – actuator

казателей оказывала наибольшее влияние на фактическую дозу внесения удобрений.

Соответствие фактической дозы внесения удобрений заданной с учетом допустимого отклонения при использовании системы ДВУ позволяет сделать вывод о том, что все компоненты системы, отвечающие за автоматическое изменение дозы внесения при дви-

СРАВНИТЕЛЬНАЯ АГРОТЕХНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА COMPARATIVE AGROTECHNICAL ASSESSMENT			
Показатели Indicators	По НД* и ТЗ* According to regulatory documents and terms of reference	Агрегат без системы ДВУ* Unit without differentiated fertilization system	Агрегат с системой ДВУ* Unit with differentiated fertilization system
Доза внесения заданная, кг/га Specified application rate, kg/ha	20-260	95,0	40,0
Доза внесения фактическая, кг/га Actual application rate, kg/ha	–	98,3	41,2
Отклонение фактической дозы от заданной, % Deviation of the actual dose from the specified, %	±5,0	3,5	2,7
Неравномерность распределения удобрений по ширине захвата, % Uneven distribution of fertilizers across the working width, %	≤10,0	5,4	5,6
Глубина обработки, см Processing depth, cm	12-20	15,5	15,6
Крошение почвы, % Soil crumbling, %	≥60,0	65,1	64,5
Высота гребней, см Combs height, cm	≤8,0	6,2	6,4
Подрезание сорных растений, % Cutting of weeds, %	100	100	100

* НД – нормативный документ; ТЗ – техническое задание; ДВУ – дифференцированное внесение удобрений

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА COMPARATIVE ENERGY ASSESSMENT		
Показатели Indicators	Агрегат без системы ДВУ* Unit without differentiated fertilization system	Агрегат с системой ДВУ* Unit with differentiated fertilization system
Скорость движения, км/ч Motion speed, km/h	8,0	8,0
Часовой расход топлива, кг/ч Fuel consumption per hour, kg/h	61,2	61,2
Мощность на преодоление тягового сопротивления, кВт Power to overcome traction resistance, kW	132,8	133,0
Тяговое сопротивление, кН Traction resistance, kN	53,1	53,2
Обороты вентилятора, мин ⁻¹ Fan speed, min ⁻¹	2400	2400
Мощность, затрачиваемая на привод вентилятора, кВт Power consumed to drive the fan, kW	1,8	1,8
Мощность, потребляемая орудием, кВт Power consumed by the tool, kW	134,6	134,8
Удельные энергозатраты, МДж/га Specific energy consumption, MJ/ha	88,1	86,6
Производительность за 1 ч основного времени, га Productivity for 1 hour of main time, ha	5,5	5,6
* ДВУ – дифференцированное внесение удобрений		

жении агрегата по полю, а также высевальные аппараты орудия откалиброваны и отрегулированы с достаточной степенью точности.

По результатам энергетической оценки установлено, что в целом система ДВУ не оказывает существенного влияния на такие показатели, как тяговое сопротивление, тяговая мощность (табл. 2). При этом

за счет уменьшения величины перекрытия и увеличения производительности удельные энергозатраты снижаются на 1,7% – с 88,1 до 86,6 Мдж/га.

Входящий в состав системы ДВУ навигационный комплекс с функцией параллельного вождения позволил уменьшить величину перекрытия смежных проходов агрегата с 0,30 до 0,18 м, благодаря чему рабо-

ПОКАЗАТЕЛИ СРАВНИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ INDICATORS OF COMPARATIVE OPERATIONAL AND TECHNOLOGICAL ASSESSMENT		
Показатели Indicators	Агрегат без системы ДВУ* Unit without differentiated fertilization system	Агрегат с системой ДВУ* Unit with differentiated fertilization system
Рабочая скорость, км/ч Working speed, km/h	8,0	8,0
Конструктивная ширина захвата, м Constructive capture width, m	7,2	7,2
Рабочая ширина захвата, м Working capture width, m	6,90	7,02
Величина перекрытия, м Overlap size, m	0,30	0,18
Производительность за 1 ч, га/ч: Productivity for 1 hour, ha/h: основного времени / main time сменного времени / shift time эксплуатационного времени / operational time	5,52 4,25 4,25	5,62 4,32 4,32
Коэффициенты использования времени: Time utilization rates: сменного / shift time эксплуатационного / operational time	0,77 0,77	0,77 0,77
Удельный расход топлива, кг/га Specific fuel consumption, kg/ha	14,41	14,16
* ДВУ – дифференцированное внесение удобрений		

чая ширина захвата агрегата возросла на 1,7% (табл. 3). В результате на 1,7% повысилась сменная производительность и снизился удельный расход топлива.

Коэффициенты использования сменного и эксплуатационного времени в двух сравниваемых вариантах составили 0,77, поскольку за время проведения производственных испытаний технических отказов в работе агрегата и системы ДВУ не наблюдалось.

Результаты сравнительной экономической оценки, проведенной в 2020 г., показали, что применение системы ДВУ позволяет получить годовой экономический эффект в размере 630,6 тыс. рублей (3518,8 тыс. тенге), снизить совокупные затраты на 36%, при этом срок окупаемости дополнительных капитальных вложений составляет не более 1 года.

Выводы. Установили, что в условиях Северного Казахстана основной экономический эффект от применения системы ДВУ «Агронавигатор-дозатор» получен благодаря снижению фактической дозы внесения минеральных удобрений на 57,6% (с 95 до 40 кг/га). Применение электронных карт-заданий с дифференцированной дозой внесения минеральных удобрений позволило сократить их расход и, соответственно, затраты денежных средств на закупку.

Управление агрегатом в режиме параллельного вождения сузило величину перекрытия смежных проходов с 0,30 до 0,18 м, что повысило сменную производительность на 1,7% (с 4,25 до 4,32 га/ч), сократило расход удобрений на уже обработанную площадь, уменьшило удельный расход топлива на 1,7% (с 14,41 до 14,16 кг/га), снизило удельные затраты энергии на 1,7% (с 88,1 до 86,6 Мдж/га). Результатом стала экономия денежных средств на оплату труда обслуживающего персонала, горюче-смазочные материалы, амортизацию, ремонт и техническое обслуживание.

Экономический эффект от применения системы дифференцированного внесения удобрений «Агронавигатор-дозатор» составил 630,6 тыс. рублей в год. Совокупные затраты снизились на 36%. Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений составляет не более 1 года.

Благодарности. Авторы статьи выражают благодарность лаборатории точного земледелия ТОО «НПЦЗХ им. Бараева» (Республика Казахстан, Акмолинская область, пос. Научный), Скобликову В.Ф., Заболотских В.В. и Лисеновичу А.И. за оказание помощи при подготовке и проведении производственных испытаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Vecchio Y., De Rosa M., Adinolfi F., Bartoli L., Masi. M. Adoption of precision farming tools: A context-related analysis. *Land use policy*. 2020. N94(C).
2. Finger R., Swinton S.M., Benni N., Walter A. Precision Farming at the nexus agricultural production and the environment. *Annual Review of Resource Economics*. 2019. N11. 313-335.
3. Vecchio Y., Agnusdei G., Miglietta P., Capitanio F. Adoption of precision farming tools: The case of Italian farmers. *International journal of environmental research and public health*. 2020. N17(3). 869.
4. Якушев В.В. Точное земледелие. Теория и практика. СПб.: АФИ. 2016. 364 с.
5. Анищенко А.Н. «Умное» сельское хозяйство как перспективный вектор роста аграрного сектора экономики России // *Продовольственная политика и безопасность*. 2019. N2. С. 97-108.
6. Якушев В.П., Якушев В.В. Перспективы «умного сельского хозяйства» в России // *Вестник Российской Академии Наук*. 2018. Т. 88. N9. С. 773-784.
7. Еремин Д.И., Кибук Ю.П. Дифференцированное внесение удобрений как инновационный подход в системе точного земледелия // *Вестник КрасГАУ*. 2017. N8. С. 17-26.
8. Труфляк Е.В. Дифференцированные технологии. Краснодар: КубГАУ. 2016. 44 с.
9. Труфляк Е.В. Основные элементы системы точного земледелия. Краснодар: КубГАУ. 2016. 39 с.
10. Личман Г.И., Колесникова В.А., Марченко Н.М., Марченко А.Н. Разработка алгоритма оценки точности систем позиционирования ГЛОНАСС/GPS при дифференцированном внесении удобрений // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. Т. 11. N2. С. 4-8.
11. Марченко Л.А., Артюшин А.А., Смирнов И.Г. Технология внесения пестицидов и удобрений беспилотными летательными аппаратами в цифровом сельском хозяйстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2019. Т. 13. N5. С. 38-45.
12. Абрамов Н.В., Шерстобитов С.В. Дифференцированное внесение удобрений с использованием спутниковой навигации // *Агрохимия*. 2018. N9. С. 40-49.
13. Sugirbay A.M., Zhao J., Nukeshev S.O., Chen J. Determination of pin-roller parameters and evaluation of the uniformity of granular fertilizer application metering devices in precision farming. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020. Vol. 179. 105835.
14. Nukeshev S., Eskhozhin K., Rammaniuk M., Tleumbetov K., Kosatbekova D. Technological and technical solutions to the problem of soil compaction and depletion in the system of precision farming in the conditions of northern Kazakhstan. *Mechanization in agriculture & conserving of the resources*. 2019. N3. 95-99.
15. Канаев М.А., Карпов О.В., Васильев С.А., Фатхудинов М.Р. Разработка системы автоматизации дифференцированного внесения удобрений при посеве // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2017. N1. С. 58-62.
16. Токарев И.В., Куваев А.Н., Дерепаскин А.И., Бобков С.И. Выбор системы дифференцированного внесения удобрений и результаты лабораторных испытаний в Северном Казахстане // *Тракторы и сельхозмашины*. 2020. N3. С. 28-35.

REFERENCES

1. Vecchio Y., De Rosa M., Adinolfi F., Bartoli L., Masi. M. Adoption of precision farming tools: A context-related analysis. *Land use policy*. 2020. N94 (In English).
2. Finger R., Swinton S.M., Benni N., Walter A. Precision Farming at the nexus agricultural production and the environment. *Annual Review of Resource Economics*. 2019. N11. 313-335 (In English).
3. Vecchio Y., Agnusdei G., Miglietta P., Capitanio F. Adoption of precision farming tools: The case of Italian farmers. *International journal of environmental research and public health*. 2020. 17(3) (In English).
4. Yakushev V.V. *Tochnoe zemledelie. Teoriya i praktika*. [Precision farming. Theory and practice]. SPb.: FGBNU AFI. 2016. 364 (In Russian).
5. Anishchenko A.N. «Umnoe» sel'skoe khozyaistvo kak perspektivnyy vektor rosta agrarnogo sektora ekonomiki Rossii [«Smart» agriculture as a promising vector of growth of agrarian sector of economy in Russia]. *Prodovol'stvennaya politika i bezopasnost'*. 2019. N2. 97-108 (In Russian).
6. Yakushev V.P., Yakushev V.V. Perspektivy «umnogo sel'skogo khozyaistva» v Rossii [Prospects for "smart agriculture" in Russia]. *Vestnik Rossiiskoi Akademii Nauk*. 2018. N9. 773-784 (In Russian).
7. Eryomin D.I., Kibuk Yu.P. Differentsirovannoe vnesenie udobreniy kak innovatsionnyy podkhod v sisteme tochnogo zemledeliya [Differentiated application of fertilizers as an innovative approach in the system of precision farming]. *Vestnik Kras GAU*. 2017. N8. 17-26 (In Russian).
8. Truflyak E.V. Differentsirovannyye tekhnologii [Differentiated technologies]. Krasnodar: KubGAU. 2016. 44 (In Russian).
9. Truflyak E.V. Osnovnye elementy sistemy tochnogo zemledeliya [The main elements of the precision farming system]. Krasnodar: KubGAU. 2016. 39 (In Russian).
10. Lichman G.I., Kolesnikova V.A., Marchenko N.M., Marchenko A.N. Razrabotka algoritma otsenki tochnosti sistem pozitsionirovaniya GLONASS/GPS pri differentsirovannom vnesenii udobreniy [Algorithm development for assessment of accuracy positioning systems GLONASS/GPS with differentiated application of fertilizers]. *Sel'sk Khozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017. N2. 4-8 (In Russian).
11. Marchenko L.A., Artyushin A.A., Smirnov I.G. Tekhnologiya vneseniya pestitsidov i udobreniy bespilotnymi letatel'nyimi apparatami v tsifrovom sel'skom khozyaistve [Technology of pesticides and fertilizers application with unmanned aerial vehicles in digital agriculture]. *Sel'sk Khozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2019. N13. 38-45 (In Russian).
12. Abramov N.V., Sherstobitov S.V. Differentsirovannoe vnesenie udobreniy s ispol'zovaniem sputnikovoy navigatsii [Differential Application of Nitrogen Fertilizers using Satellite Navigation]. *Agrokhimiya*. 2018. N9. 40-49 (In Russian).
13. Sugirbay A.M., Zhao J., Nukeshev S.O., Chen J. Determination of pin-roller parameters and evaluation of the uniformity of granular fertilizer application metering devices in precision farming. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2020. Vol. 179. 105835 (In English).
14. Nukeshev S., Eskhozhin K., Rammaniuk M., Tleumbetov K., Kosatbekova D. Technological and technical solutions to the problem of soil compaction and depletion in the system of precision farming in the conditions of northern Kazakhstan. *Mechanization in agriculture & conserving of the resources*. 2019. N3. 95-99 (In English).
15. Kanaev M.A., Karpov O.V., Vasil'ev S.A., Fathudinov M.R. Razrabotka sistemy avtomatizatsii differentsirovannogo vneseniya udobreniy pri poseve [Development of a differentiated automation system application of fertilizers during sowing]. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy sel'sk Khozyaystvennoy akademii*. 2017. N1. 58-62 (In Russian).
16. Tokarev I.V., Kuvaev A.N., Derepaskin A.I., Bobkov S.I. Vybory sistem differentsirovannogo vneseniya udobreniy i rezul'taty laboratornykh ispytaniy v Severnom Kazakhstane [Selection of the optimal system of differentiated application of mineral fertilizers for soil and climatic conditions of Kostanay region]. *Traktory i sel'hoz mashiny*. 2020. N3. 28-35.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 10.02.2021
The paper was submitted
to the Editorial Office on 10.02.2021

Статья принята к публикации 09.03.2021
The paper was accepted
for publication on 09.03.2021

Обоснование устройства генерации капель искусственного дождя пневмогидравлическим распылением жидкости

Василий Петрович Горобей¹,

доктор технических наук, старший научный сотрудник, e-mail: sector.simf23@yandex.ru;

Вадим Юрьевич Москалевич²,

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

Захид Адегизалович Годжаев³,

доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РАН,

e-mail: fic51@mail.ru

¹Всероссийский национальный научно-исследовательский институт виноградарства и виноделия «Магарах» РАН, Симферополь, Российская Федерация

²Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Симферополь, Российская Федерация

³Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Исследовали показатели пневмогидравлического устройства распыления жидкости для орошения, питания и защиты сельскохозяйственных растений с учетом принципов водознергосбережения, основанных на предварительном газонасыщении распыливаемой воды и использовании в конструкции аэрационного узла кавитационного эффекта при эжекции и подаче воздуха под давлением. (*Цель исследования*) Определить технологические показатели пневмогидравлического устройства распыления жидкости для получения искусственного дождя регулируемой дисперсности и обосновать выбор его оптимальных технических параметров в зависимости от режимов работы. (*Материалы и методы*) Использовали алгоритм расчета параметров в табличном процессоре EXCEL или WPS и математические выражения. (*Результаты и обсуждение*) Теоретически определили минимальные и максимальные расчетные параметры геометрии конструктивного решения устройства для распыления жидкой фазы: сопла водяного штуцера, канала воздушного штуцера, камеры смешения, среднего кольцевого зазора, выходного сопла. Изменяли показатели рабочих давлений воды – 0,20; 0,25; 0,30 и 0,35 мегапаскаля; воздуха – 0,25 и 0,30 мегапаскаля при условии расхода воды от 0,002 до 0,010 литра в секунду и воздуха – от 0,0005 до 0,0090 килограмма в секунду. При повышении расхода воды в указанных пределах и коэффициента эжекции от 0,5 до 0,9 выявили линейное увеличение среднего диаметра кольцевого зазора от 2 до 15 миллиметров, а также нелинейную зависимость роста диаметра камеры смешения распылителя с 5 до 20 миллиметров. Показали возможность существенно уменьшить диаметр камеры смешения, если повысить давление воды от 0,25 до 0,35 мегапаскаля и, соответственно, давление воздуха – от 0,20 до 0,30 мегапаскаля. Определили величины параметров для разработки макетных и экспериментальных образцов, которые оказались значительно меньше, чем при работе в режиме эжекции воздуха: выходного сопла и среднего кольцевого зазора – на 16 процентов, канала воздушного штуцера – на 23, диаметра камеры смешения – на 50 процентов и более. (*Выводы*) Получили расчетные данные для оптимизации технологических параметров и конструктивных решений, что позволит ускорить изготовление макетных и модельных образцов устройства и его экспериментальную апробацию для генерации капель искусственного дождя различной дисперсности.

Ключевые слова: орошение, пневмогидравлический дождеватель, распыление жидкости, эжекция воздуха, дисперсность, кавитация.

■ **Для цитирования:** Горобей В.П., Москалевич В.Ю., Годжаев З.А. Обоснование устройства генерации капель искусственного дождя пневмогидравлическим распылением жидкости // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. №2. С. 53-60. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-53-60.

Device Substantiation for Generating Artificial Rain Drops by Pneumohydraulic Liquid Spraying

Vasiliy P. Gorobey¹,

Dr.Sc.(Eng.), senior research, e-mail: sector.simf23@yandex.ru;

Vadim Y. Moskalevich²,

Ph.D.(Eng.), associate professor, e-mail: v_moskalevich@mail.ru;

Zahid A. Godzhaev³,

Dr.Sc.(Eng.), professor, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, e-mail: fic51@mail.ru

¹All-Russian National Scientific Research Institute of Vineyards and Wine "Magarach", Simferopol, Russian Federation;

²V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation;

³Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The authors studied the pneumohydraulic device indicators for spraying liquids for irrigation, nutrition and protection of agricultural plants, taking into account the principles of water and energy conservation, based on preliminary gas saturation of sprayed water and the use of a cavitation effect in the design of the aerator unit during ejection and supply of air under pressure. (*Research purpose*) To determine the technological parameters of a pneumohydraulic device for spraying liquids to obtain controlled dispersive artificial rain and substantiate the choice of its optimal technical parameters depending on the operating modes. (*Materials and methods*) The authors used an algorithm for calculating parameters in EXCEL or WPS spreadsheet processor and mathematical expressions. (*Results and discussion*) The authors theoretically determined the minimum and maximum calculated parameters of the constructive solution geometry for spraying the liquid phase: water nozzle, air nozzle channel, mixing cell, middle annular gap, outlet nozzle. They changed indicators of operating water pressure – 0.20; 0.25; 0.30 and 0.35 megapascals; air – 0.25 and 0.30 megapascals, provided the water flow rate from 0.002 to 0.010 liter per second and air – from 0.0005 to 0.0090 kilogram per second. With an increase in the water flow rate within the specified limits and the ejection coefficient from 0.5 to 0.9, a linear increase in the average annular gap diameter from 2 to 15 millimetres was revealed, as well as a nonlinear dependence of the increase in the sprayer mixing cell diameter from 5 to 20 millimetres. The authors showed the possibility of reducing the mixing cell diameter if the water pressure was increased from 0.25 to 0.35 megapascal's and the air pressure was from 0.20 to 0.30 megapascals. They obtained the parameters values for the designed and experimental samples development, which turned out to be significantly less than when operating in the air ejection mode: the outlet nozzle and the middle annular gap – by 16 percent, the air nozzle – by 23, the diameter of the mixing cell – by 50 percent or more. (*Conclusions*) The authors obtained calculated data to optimize technological parameters and design solutions, which would speed up the manufacture of designed and model samples of the device and its experimental testing for the generation of dispersive artificial rain drops.

Keywords: irrigation, pneumohydraulic sprayer, liquid spraying, air ejection, dispersion, cavitation.

For citation: Gorobey V.P., Moskalevich V.Yu., Godzhaev Z.A. Obosnovanie ustroystva generatsii kapel' iskusstvennogo dozhdya pnevmogidravlicheskim raspyleniem zhidkosti [Device substantiation for generating artificial rain drops by pneumohydraulic liquid spraying]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N2. 53-60 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-53-60.

Технологии малообъемного орошения, такие как дождевание и капельное орошение, находят все большее применение во многих странах мира [1]. Однако в целом они используются еще весьма ограничено, так как требуют наличия сложных и дорогостоящих технических средств и высокой культуры орошаемого земледелия [2-6]. Практическими исследованиями установлена актуальность разработки технологий орошения и эксплуатации технических средств, в наибольшей степени соответствующих почвенно-климатическим условиям районов применения: с качеством естественных дождей «средней» силы, водо- и энергосберегающих, экологических. Этим требованиям лучше всего соответствуют системы микроорошения, которые обеспечивают повышение урожайности сельхозкультур на 50-60%, экономию оросительной воды – на 20-30% при снижении капитальных вложений на 20-30% и энергетических затрат – на 15-30% [7-10]. Технические средства мелкодисперсного дождевания необходимы для внекорневой подкормки растений, ухода за кронами насаждений, регулирования микро- и фитолимата на полях путем распыления диспергированной воды в приземном слое при неблагоприятных или экстремальных

для растений условиях воздушной среды [11].

Системы мелкодисперсного дождевания применимы на орошаемых и богарных землях для освежительных поливов садов, ягодников, чайных плантаций, а также овощных, кормовых и технических культур, многолетних трав и пастбищ. Поскольку эти системы не решают проблемы обеспечения растений влагой, их надо применять одновременно с другими видами орошения, например с наиболее экономичным капельным способом полива. В этом случае необходимо создавать совместную систему орошения с единым узлом управления [12-14].

Для усовершенствования устройств создания искусственного дождя по инновационным технологиям предложены пневмогидравлические установки. Их отличительная особенность – подведение в водопроводящий пояс дождевальной машины сжатого воздуха по воздухопроводу от компрессора. Воздуховод заканчивается соплом, где образуется водо-воздушная смесь.

В Республике Казахстан (Казахский научно-исследовательский институт водного хозяйства, г. Тараз) для орошения небольших площадей фермерских хозяйств, по результатам анализа конструкций суще-

ствующих систем импульсного дождевания, разработана принципиальная схема такой системы с усовершенствованными основными элементами (патент КЗ № 26143, 2012). Для улучшения качества дождя импульсных дождевательных аппаратов типа «Роса-3» создана специальная насадка. Поступление воздуха в сопло улучшает структуру дождя путем изменения диаметра капель [15, 16].

Из всех содержащихся в жидкости примесей существенное влияние на ее прочность могут оказать только пузырьки, находящиеся в объеме жидкости или в мелких трещинах нерастворимых частиц. Газовый пузырек – слабое место в структуре жидкости, определяющее ее прочность. Согласно теории прочности жидкости Я.Б. Зельдовича, ее разрушение наступает вследствие развития газовых пузырьков. Другой механизм разрывов сплошности жидкости – кавитация, которая возникает при резком снижении давления в потоке движущейся жидкости. Эти механизмы разрушения сплошности жидкости использованы в пневмогидравлическом устройстве, которое работает в режиме эжекции воздушной фазы для распыления жидкости для орошения и фертигации сельскохозяйственных растений [17] (RU № 2704175, 2019).

Исследованиями газожидкостного потока на стенде установлено, что форсунки пневмогидроорошения показывают более эффективный факел по сравнению с пневмоорошением [18].

Актуальной остается задача изменения дисперсности жидкой фазы, получение которой возможно при регулировании давления и расхода смешивающихся гетерогенных фаз.

Цель исследования – определить технологические показатели пневмогидравлического устройства распыления жидкости для получения искусственного дождя регулируемой дисперсности и обосновать выбор его оптимальных технических параметров в зависимости от режимов работы.

Материалы и методы. Прикладные компьютерные программы позволяют анализировать некоторые технические показатели существующих и вновь создаваемых дождевательных машин. В целях оптимизации процесса работы машин по критериям равномерности распределения жидкостей для снижения материальных и энергетических затрат, повышения вероятности качественной работы при изменении условий эксплуатации используют программы моделирования распределения воды дождевальными аппаратами и насадками, составленные в системе *MathCAD* по формулам с выводом зависимостей числовых характеристик от давления и геометрических параметров [19, 20].

Предварительное газонасыщение воды повышает КПД распыливания и существенно снижает расход воздуха и энергии по сравнению с пневматическим распыливанием. Для расширения диапазона регулирования размеров капель воды, разбрызгиваемых дож-

девателями, использованы аэраторы с кавитационным эффектом при эжекции. Такие устройства при простоте конструкции позволяют получать водо-воздушную смесь, легко распадающуюся на капли при выходе из сопла дождевателя в воздух, без дополнительных затрат механической энергии.

Методы математического моделирования рабочего процесса генерирования капель искусственного дождя пневмогидравлическим устройством позволили обосновать его геометрические и технологические параметры для создания мелкодисперсного искусственного дождя, регулирования крупности и равномерности распределения капель и снижения энергозатрат. Алгоритм расчета параметров распыливающего устройства пневмогидравлического увлажнителя выполнен и работает в табличном процессоре (*EXCEL* или *WPS*) с использованием приведенных математических выражений обоснования основных конструктивно-технологических параметров устройства.

Результаты и обсуждение. Для исследований взяли устройство дождевателя, корпус которого состоит из трех частей, расположенных вдоль оси на резьбовом соединении (рис. 1).

При распылении воды или растворов поток жидкой фазы под давлением p_1 направлен по каналу штуцера, где получает ускорение в конусообразном сужении канала и поступает в сопло. Жидкость частично приводится во вращение винтообразными углублениями на цилиндрических стенках сопла и выбрасывается в камеру смешения. Там происходит разрежение поступающего под давлением p_2 воздуха. Насыщенная воздухом жидкость направляется под давлением p_3 в выпускное сопло, где вращением по винтообразным углублениям дополнительно завихряется перед выбросным распылением. При нагнетании воздуха под давлением распыление жидкости регулируется изменением величины кольцевого пневмозазора, образованного между конусными поверхностями корпуса и наружной конусовидной поверхностью торцевой части штуцера соосно центральному жидкостному каналу.

В пневмогидравлическом устройстве воздух может быть диспергирован в жидкую фазу из атмосферы под действием разрежения, возникающего в камере смешивания, без принудительного воздействия. Требования к чистоте жидкой фазы определены величиной поперечного сечения жидкостного канала, а попадание жидкости в камеру для воздуха при работе устройства исключено.

Эжекция воздушной фазы – важное условие при обосновании конструктивно-технологической схемы и параметров дождевателя. Для наиболее эффективного распыливания воды его конструкция должна обеспечивать насыщение воды воздухом и значительный перепад давления на выходе водо-воздушной смеси из сопла форсунки. Насыщение воды воздухом мо-

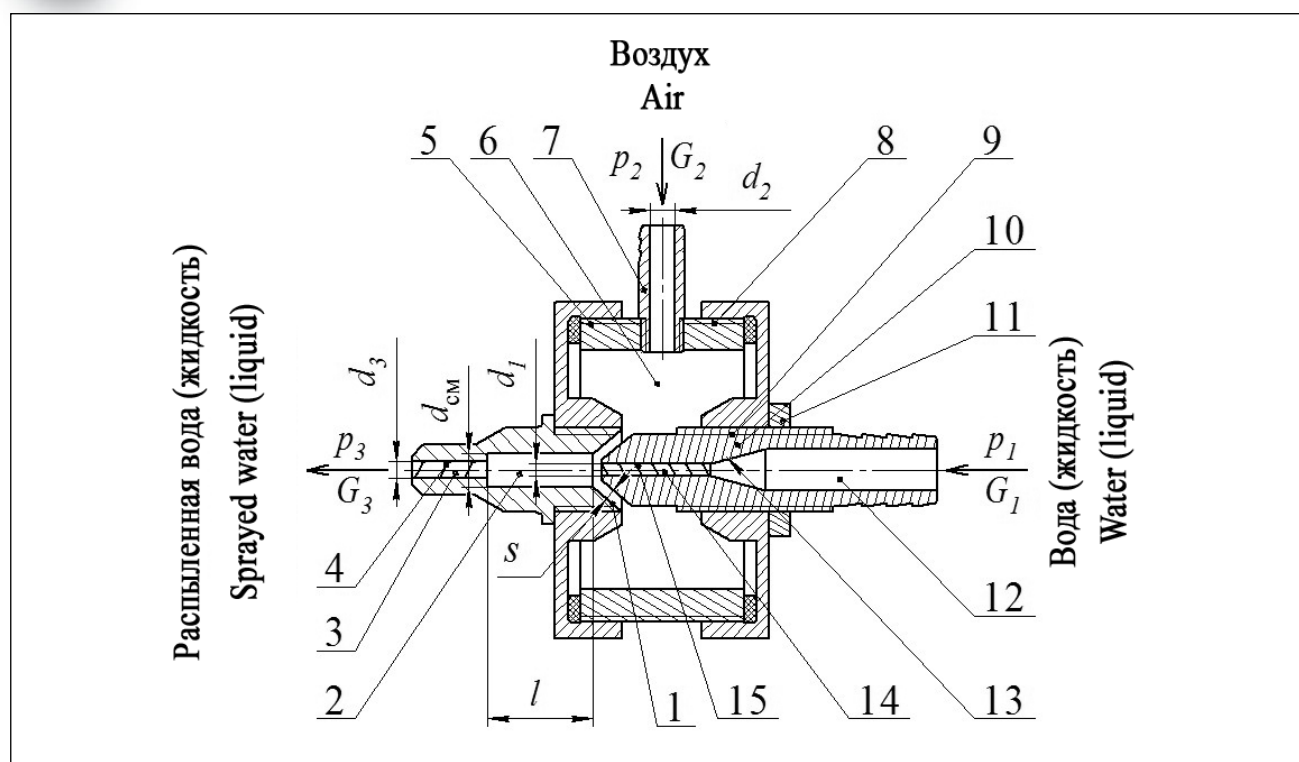


Рис. 1. Схема устройства для распыления жидкости: p_1 – давление оборотной воды; p_2 – давление воздуха; p_3 – давление водовоздушной смеси; d_1 – диаметр камеры смешения; d_2 – диаметр канала воздушного штуцера; d_3 – диаметр выпускного сопла; G_1 – расход оборотной воды; G_2 – расход воздуха; G_3 – расход водовоздушной смеси; s – ширина кольцевого зазора; l – длина камеры смешения; 1 – выпускное сопло; 2 – кольцевая впадина; 3 – камера смешения; 4 – винтообразные углубления; 5 – резьбовое соединение между первой и второй частью корпуса; 6 – диффузор; 7 – воздушный штуцер; 8 – резьбовое соединение между второй и третьей частью корпуса; 9 – резьба штуцера; 10 – штуцер; 11 – фиксатор положения; 12 – канал штуцера; 13 – сужение канала штуцера; 14 – жидкостное сопло; 15 – однозаходные винтовые углубления

Fig. 1. Structure diagram of a device for spraying liquid: p_1 – circulating water pressure; p_2 – air pressure, p_3 – water-air mixture pressure; d_1 – diameter of the mixing cell; d_2 – diameter of the channel of the air fitting; d_3 – diameter of the exhaust nozzle; G_1 – circulating water consumption; G_2 – air consumption; G_3 – flow rate of the air-water mixture; s – width of the annular gap l – length of the mixing cell; 1 – outlet nozzle; 2 – annular cavity; 3 – mixing chamber; 4 – spiral depressions; 5 – threaded connection between the first and second part of the body; 6 – diffuser; 7 – air connection; 8 – threaded connection between the second and third body parts; 9 – fitting thread; 10 – fitting; 11 – position lock; 12 – fitting channel; 13 – narrowing of the choke channel; 14 – liquid nozzle; 15 – single-threaded spiral depressions

жет осуществляться как принудительным его вводом в камеру смешиванию, так и путем его эжекции. В последнем случае струя воды создает разрежение в камере смешения, и воздух всасывается из атмосферы.

На основе известного из гидравлики уравнения для расхода воды G_1 через сопло получена зависимость для расчета диаметра d_1 отверстия круглого сечения водяного штуцера:

$$d_1 = \sqrt{\frac{4G_1}{\pi\mu_1\sqrt{2p_1}}}, \quad (1)$$

где d_1 – диаметр отверстия круглого сечения водяного штуцера, м;

G_1 – расход воды через сопло, л/с;

μ_1 – коэффициент расхода воды;

p_1 – давление воды, Па.

Зависимость для расчета среднего диаметра кольцевого зазора на входе в камеру смешения устройства

для распыления жидкости, полученная с учетом известного уравнения для массового расхода воздуха, поступающего из атмосферы через воздушную камеру в камеру смешения, имеет вид:

$$d_c = \frac{G_2}{\pi\mu_2 s} \sqrt{\frac{RT_2}{0,469}}, \quad (2)$$

где d_c – средний диаметр кольцевого зазора, м;

p_2 – давление воздуха, Па;

G_2 – расход воздуха, кг/с;

R – газовая постоянная, (Н·м)/(кг·град.);

T_2 – абсолютная температура воздуха, К;

μ_2 – коэффициент расхода воздуха;

s – ширина кольцевого зазора, м.

Чтобы вода из камеры смешения дождевателя не попадала в воздушную камеру дождевателя, необходимо расход воздуха, засасываемого через кольцевой зазор в камеру смешения аэратора, компенсировать

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ МЕЛКОДИСПЕРСНОГО РАСПЫЛИТЕЛЯ CALCULATION OF PARAMETERS OF A FINE SPRAY															
Исходные данные Initial data						Расчетные диаметры, мм Calculated diameters, mm									
давление, МПа pressure, MPa		расход consumption													
воды, p_1 water	воздуха, p_2 air	воды, G_1 , л/с water, G_1 , l/s		воздуха, G_2 , кг/с air, G_2 , kg/s		сопла водяного штуцера, d_1 water connection nozzles, d_1		канала воздушного штуцера, d_2 air connection channel, d_2		камеры смешения, d_{cm} mixing chambers, d_{cm}		среднего кольцевого зазора, d_c average annular gap, d_c		выходного сопла, d_3 outlet nozzle, d_3	
		min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max
0,25	0,20	0,001	0,01	0,0009	0,009	1,41	4,47	1,29	4,08	6,35	20,08	0,83	8,32	2,05	4,70
0,30	0,25	0,001	0,01	0,0007	0,007	1,35	4,27	1,36	4,32	5,17	16,36	0,93	9,31	1,93	4,20
0,35	0,30	0,001	0,01	0,0005	0,005	1,30	4,11	1,41	4,47	4,40	13,91	1,00	9,98	1,82	3,64

воздухом, поступающим из атмосферы в воздушную камеру дождевателя. Это обеспечивается равенством сечений кольцевого зазора на входе в камеру смешения дождевателя и отверстия воздушного штуцера на входе в воздушную камеру дождевателя. Тогда можно определить диаметр отверстия воздушного штуцера:

$$d_2 = \sqrt{\frac{G_2}{\pi \mu p_2}} \sqrt{\frac{RT_2}{0,469}}. \quad (3)$$

где d_2 – диаметр отверстия воздушного штуцера, м.

Выражение для диаметра d_3 получим на основании современных теоретических представлений о работе водовоздушных эжекторов [19]:

$$d_3 = \sqrt{\frac{4G_1(1+u)}{\pi \mu \sqrt{2p_3}}}, \quad (4)$$

где d_3 – диаметр выпускного сопла, м;

u – коэффициент эжекции;

p_3 – давление водовоздушной смеси, Па;

μ – коэффициент расхода водовоздушной смеси.

Длина l камеры смешения должна быть достаточной для завершения процесса. Ее оптимальное значение при круглой форме отверстий водяного штуцера и выходного сопла азуратора определено с учетом результатов предыдущих исследований:

$$l = 15d_1 \left(\frac{d_3}{d_1} - 1 \right). \quad (5)$$

Алгоритм расчета параметров распыливающего устройства дождевателя выполнен и работает в табличном процессоре (EXCEL или WPS) с использованием выражений (1)-(5). Исходными данными стали давление воды p_1 и воздуха p_2 на входе дождевателя, необходимый расход воды G_1 и коэффициент эжекции u . В расчетах учитываются коэффициенты расхода μ_1 воды и μ_2 воздуха, газовая постоянная R и температура воздуха T . Результаты расчетов в EXCEL выдаются в виде таблиц (таблица).

Обоснованы минимальные и максимальные расчетные параметры геометрии конструктивного решения устройства для распыления жидкой фазы: сопла водяного штуцера, канала воздушного штуцера, камеры смешения, среднего кольцевого зазора, выходного сопла при рабочих давлениях воды 0,20; 0,25; 0,30 и 0,35 МПа; воздуха 0,25 и 0,30 МПа при условии расхода воды от 0,002 до 0,010 л/с и воздуха от 0,0005 до 0,0090 кг/с. Получены статистические наработки связи технологических условий работы пневмогидравлического дождевателя с целесообразной необходимостью регулирования его технических характеристик. Для визуальной наглядности интерпретации табличных данных по результатам расчетов построены графики (рис. 2). Согласно построенному графику, с увеличением расхода воды от 0,002 до 0,010 л/с и коэффициента эжекции от 0,5 до 0,9 наблюдается линейное расширение среднего диаметра кольцевого зазора от 2 до 15 мм. Диаметр камеры смешения распылителя увеличивается по нелинейной зависимости с 5 до 20 мм с ростом расхода воды от 0,002 до 0,010 л/с (рис. 3). При этом повышение давления воды с 0,25 до 0,35 МПа и, соответственно, давления воздуха с 0,20 до 0,30 МПа (таблица) позволяет существенно уменьшить диаметр камеры смешения.

Прикладное математическое моделирование процесса пневмогидравлического распыления с принудительной подачей воздуха дало возможность получить величины параметров для разработки макетных и экспериментальных образцов. Они значительно меньше, чем при работе в режиме эжекции воздуха: выходного сопла и среднего кольцевого зазора – на 16%, канала воздушного штуцера на – 23%, а диаметра камеры смешения – на 50% и более.

Таким образом, разработанная на основании теоретических исследований методика позволяет рассчитывать конструктивные и геометрические параметры устройства получения искусственного дождя регулируемой дисперсности для повышения эффек-

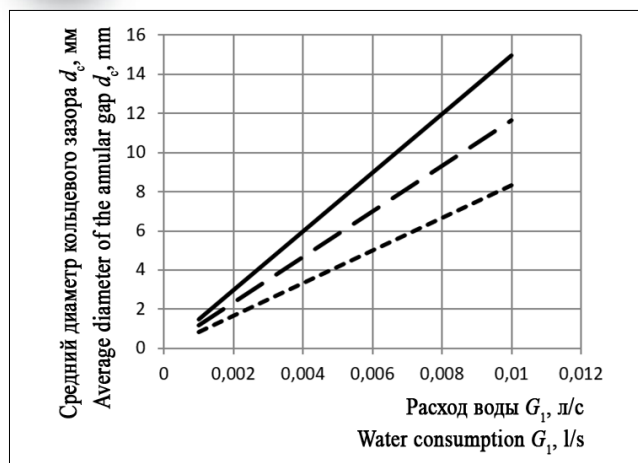


Рис. 2. Зависимость среднего диаметра кольцевого зазора от расхода воды с эжекцией воздуха при коэффициенте эжекции: — — 0,9; - - - - 0,7; ······ 0,5

Fig. 2. The dependence of the annular gap average diameter on the water flow rate with air ejection with an ejection coefficient: — — 0,9; - - - - 0,7; ······ 0,5

тивности полива сельскохозяйственных культур, совмещая подкормку или химзащиту растений при искусственном дождевании по различным технологиям их выращивания путем создания необходимых условий образования водо-воздушной струи.

Выводы. Разработали пневмогидравлическое устройство распыления жидкости для орошения, питания и защиты сельскохозяйственных растений с учетом принципов водо- и энергосбережения, основанных на предварительном газонасыщении распыливаемой воды и использовании в конструкции аэрационного узла кавитационного эффекта при эжекции и подаче воздуха под давлением. Показали влияние давления воздушной фазы в диапазоне рабочих вели-

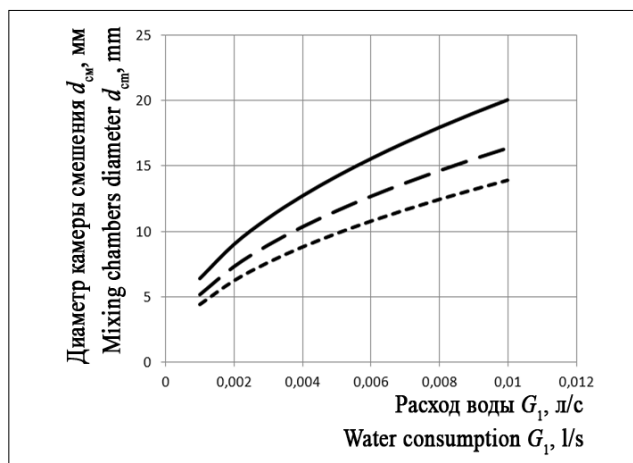


Рис. 3. Зависимость диаметра камеры смешения распылителя от расхода воды при подаче воздуха под давлением 0,2–0,3 МПа и давлении воды: — — 0,25 МПа, - - - - 0,30 МПа, ······ 0,35 МПа

Fig. 3. The dependence of the sprayer mixing chamber diameter on the water flow when air is supplied under pressure (from 0.2 to 0.30 MPa) and water pressure p_1 : — — 0.25 MPa, - - - - 0.30 MPa, ······ 0.35 MPa

чин функционирования дождевателя на его технические характеристики. При этом уменьшаются диаметры выходного сопла и среднего кольцевого зазора — на 16%, канала воздушного штуцера — на 23%, а диаметра камеры смешения — на 50% и более.

Использование полученных расчетных данных для оптимизации технологических параметров и конструктивных решений ускорит изготовление макетных и модельных образцов устройства распыления жидкости и его экспериментальную апробацию для генерации капель искусственного дождя различной дисперсности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Lamm F.R., Ayars J.E., Nakayama F.S. Developments in Agricultural Engineering: Microirrigation for Crop Production Design, Operation, and Management. *Developments in Agricultural Engineering*. 2007. N13. 619.
2. Хажметов Л.М., Езаов А.К., Сасиков А.С. Технологии и техника мелкодисперсного дождевания // *Символ науки*. 2016. N4. С. 134–136.
3. De Wrachien D., Lorenzini G., Medici M. Sprinkler irrigation systems: State-of-the-art of kinematic analysis and quantum mechanics applied to water jets. *Irrigation and Drainage*. 2013. N62(4). 407–413.
4. Do Prado G., Colombo A., De Oliveira H.F.E., Faria L.C. Water application uniformity of self-propelled irrigation equipment with sprinklers presenting triangular, elliptical and rectangular radial water distribution profiles. *Engenharia Agrícola*. 2012. N32(3). 522–529.
5. Брыль С.В., Зверьков М.С. Теоретические подходы к расчету вертикального эффективного давления удара капель искусственного дождя о почву и твердую поверхность // *Экология и строительство*. 2016. N1. С. 16–20.
6. Шепелев А.Е. Исследования характеристик искусственного дождя широкозахватной многоопорной дождевальной техники // *Пути повышения эффективности орошаемого земледелия*. 2017. N4(68). С. 36–42.
7. Ольгаренко Г.В. Основные направления разработки отечественных технических средств микроорошения для мелкоконтурных участков // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. Т. 30. N5. С. 82–85.
8. Ольгаренко Г.В. Стратегия научно-технической деятельности по разработке новой техники орошения при реализации программы развития мелиорации // *Мелиорация и водное хозяйство*. 2011. N2. С. 5–8.
9. Bambang Aris Sistanto. The Study of Placement Pattern Micro Sprinkler Depends on Hanging Micro Sprinkler Irrigation



Against the Value of Irrigation Efficiency. *International Journal on Advanced Science Engineering and Information Technology*. 2014. Vol. 4. N5. 24-30.

10. Dipak S. Khatawkar, Ganesh S. Ghante, Umesh V. Patil. Performance evaluation of micro-sprinklers system under varying spacing and operating pressure. *An International Refereed, Peer Reviewed & Indexed Quarterly Journal in Science, Agriculture & Engineering*. 2019. Vol. VIII. Iss. XXVIII. 157-162.

11. Доценко С.Г., Кузнецова Е.И., Максаев Д.И. Эффективность мелкодисперсного дождевания в регулировании микро- и фитоклимата полевых культур и биологической активности почвы. *Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации*, 2014. N2(14). С. 200-205.

12. Tavakoli A.A., Ganjali H.R., Mobasser, H.R., Mehraban A., Afsharmanesh G.R. Efficiency consumption of water in intercropping ze mays corn and vigna sinesis under different regimes irrigation jiroft region in years 2016 and 2017. *Annals of Biology*. 2020. N36(3). 393-399.

13. Do Prado G., Colombo A., Barreto E.A.C. Distortion of water distribution applied by traveling gun irrigation system under windy conditions [Distorção da distribuição de água aplicada por sistemas autopropelidos de irrigação em condições de

vento]. *Irriga*. 2014. N19(3). 358-374.

14. Савушкин С.С., Терпигорев А.А., Гжибовский С.А. Исследование системы мелкодисперсного дождевания. *МуВХ*. 2010. N6. С. 17-18.

15. Герузин Я.Е. Пузыри. М.: Наука. 1985. 176 с.

16. Коровина Н.В., Кудряшова О.Б., Ворожцов Б.И., Шрагер Э.Р. Распыление жидкости при импульсном воздействии сжатым воздухом // *Известия Томского политехнического университета*. 2013. Т. 322. N2. С. 167-171.

17. Горобей В.П., Москалевич В.Ю. Моделирование пневмогидравлического распыления жидкости для орошения и фертигации // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2020. N2. С. 26-34.

18. Трубицын А.А., Христофоров А.А., Малахов А.А., Ребятников А.О. Распыливание жидкости форсунками // *Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности*. 2014. N1. С. 58-66.

19. Снопич Ю.Ф. Совершенствование технических средств орошения дождеванием. Новочеркасск: Геликон. 2007. 110 с.

20. Naghedifar S.M., Ziaki A.N., Ansari H. Numerical analysis and optimization of triggered furrow irrigation system. *Irrigation Science*. 2020. N38(3). 287-306.

REFERENCES:

1. Lamm F.R., Ayars J.E., Nakayama F.S. Developments in Agricultural Engineering: Microirrigation for Crop Production Design, Operation, and Management. *Developments in Agricultural Engineering*. 13. 2007. 619 (In English).

2. Khazhmetov L.M., Ezaov A.K., Sasikov A.S. Tekhnologii i tekhnika melkodispersnogo dozhdevaniya [Technologies and techniques of fine sprinkling] *Simvol nauki*. 2016. N4. 134-136 (In Russian).

3. De Wrachien D., Lorenzini G., Medici M. Sprinkler irrigation systems: State-of-the-art of kinematic analysis and quantum mechanics applied to water jets. *Irrigation and Drainage*. 2013. 62(4). 407-413 (In English).

4. Do Prado G., Colombo A., De Oliveira H.F.E., Faria L.C. Water application uniformity of self-propelled irrigation equipment with sprinklers presenting triangular, elliptical and rectangular radial water distribution profiles. *Engenharia Agricola*. 2012. 32(3). 522-529 (In English).

5. Bryl' S.V., Zver'kov M.S. Teoreticheskie podkhody k raschetu vertikal'nogo effektivnogo davleniya udara kapel' iskusstvennogo dozhdy o pochvu i tverduyu poverkhnost' [Theoretical approaches to calculating the vertical effective pressure of impact of artificial rain drops on the soil and hard surface]. *Ekologiya i stroitel'stvo*. 2016. N1. 16-20 (In Russian).

6. Shepelev A.E. Issledovaniya kharakteristik iskusstvennogo dozhdy shirokoy razkhatnoy mnogoopornoy dozhdeval'noy tekhniki [Studies of the characteristics of artificial rain of wide-coverage multi-support sprinkler equipment]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya*. 2017. N4(68). 36-42 (In Russian).

7. Ol'garenko G.V. Osnovnye napravleniya razrabotki otechestvennykh tekhnicheskikh sredstv mikroorosheniya dlya melkokon-

turnykh uchastkov [The main directions of the development of domestic technical means of microirrigation for small contour areas]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2016. Vol. 30. N5. 82-85 (In Russian).

8. Ol'garenko G.V. Strategiya nauchno-tekhnicheskoy deyatel'nosti po razrabotke novoy tekhniki orosheniya pri realizatsii programmy razvitiya melioratsii [Strategy of scientific and technical activities for the development of new irrigation techniques in the implementation of the melioration development program]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo*. 2011. N2. 5-8 (In Russian).

9. Bambang Aris Sistanto The Study of Placement Pattern Micro Sprinkler Depends on Hanging Micro Sprinkler Irrigation Against the Value of Irrigation Efficiency. *International Journal on Advanced Science Engineering and Information Technology*. Vol. 4. 2014. N5. 24-30 (In English).

10. Dipak S. Khatawkar, Ganesh S. Ghante, Umesh V. Patil. Performance evaluation of micro-sprinklers system under varying spacing and operating pressure. *An International Refereed, Peer Reviewed & Indexed Quarterly Journal in Science, Agriculture & Engineering*. Vol. VIII, Iss. XXVIII. Jan. 2019. 157-162 (In English).

11. Dotsenko S.G., Kuznetsova E.I., Maksaev D.I. Effektivnost' melkodispersnogo dozhdevaniya v regulirovani mikro- i fitoklimata polevykh kul'tur i biologicheskoy aktivnosti pochvy [Efficiency of fine sprinkling in regulation of micro- and phytoclimate of field crops and soil biological activity]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*. 2014. N2(14). 200-205 (In Russian).

12. Tavakoli A.A., Ganjali H.R., Mobasser H.R., Mehraban A., Afsharmanesh G.R. Efficiency consumption of water in inter-

cropping ze mays corn and vigna sinesis under different regimes irrigation jiroft region in years 2016 and 2017. *Annals of Biology*. 2020. N36(3), 393-399 (In English).

13. Do Prado G., Colombo A., Barreto E.A.C. Distortion of water distribution applied by traveling gun irrigation system under windy conditions [Distorção da distribuição de água aplicada por sistemas autopropelidos de irrigação em condições de vento]. *Irriga*. 2014. 19(3). 358-374 (In Spanish).

14. Savushkin S.S., Terpigorev A.A., Gzhibovskiy S.A. Issledovanie sistemy melkodispersnogo dozhdevaniya [Study of the system of fine sprinkling]. *MiVKH*. 2010. N6. 17-18 (In Russian).

15. Geguzin Ya.E. Puzyri. Moscow: Nauka. 1985. 176 (In Russian).

16. Korovina N.V., Kudryashova O.B., Vorozhtsov B.I., Shragher E.R. Raspylenie zhidkosti pri impul'snom vozdeystvii szhatym vozdukhom [Liquid atomization under pulsed exposure to compressed air]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*. 2013. Vol. 322. N2. 167-171 (In Russian).

17. Gorobey V.P., Moskalevich V.Yu. Modelirovanie pnevmogidravlicheskogo raspyleniya zhidkosti dlya orosheniya i fertigatsii [Modeling of pneumohydraulic liquid spraying for irrigation and fertigation]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2020. N2. 26-34 (In Russian).

18. Trubitsyn A.A., Khristoforov A.A., Malakhov A.A., Rebyatnikov A.O. Raspylivanie zhidkosti forsunkami [Liquid atomization by injectors]. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugol'noy promyshlennosti*. 2014. N1. 58-66 (In Russian).

19. Snipich Yu.F. Sovershenstvovanie tekhnicheskikh sredstv orosheniya dozhdevaniem [Improvement of technical means of irrigation by sprinkling]. Novocherkassk: Gelikon. 2007. 110 (In Russian).

20. Naghedifar S.M., Ziaei A.N., Ansari H. Numerical analysis and optimization of triggered furrow irrigation system. *Irrigation Science*. 2020. N38(3). 287-306 (In English).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 15.12.2020
The paper was submitted
to the Editorial Office on 15.12.2020

Статья принята к публикации 16.02.2021
The paper was accepted
for publication on 16.02.2021

Разработка системы автоматизированного управления агротехнологиями в садоводстве

Дмитрий Олегович Хорт,

кандидат сельскохозяйственных наук,
ведущий научный сотрудник;

Алексей Игоревич Кутырев,

кандидат технических наук, научный сотрудник,
e-mail: alexeykutyrev@gmail.com;

Игорь Геннадьевич Смирнов,

доктор технических наук,
главный научный сотрудник;

Илья Владимирович Воронков,

кандидат технических наук,
младший научный сотрудник

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Реализация интеллектуальных технологий в промышленном садоводстве возможна с помощью автоматизированной системы для управления производственными процессами. (*Цель исследования*) Разработать и обосновать параметры системы автоматизированного управления агротехнологиями в садоводстве с возможностью проведения наземных осмотров с помощью мобильного приложения. (*Материалы и методы*) Для работы с базой данных использовали ADO.NET-драйвер *Npgsql*. В качестве *Object Relational Mapping* применили *Dapper*. В веб-приложении использовали шаблон проектирования *Model View Controller*, в качестве *css-фреймворка* – *Bootstrap*. Визуализацию данных из базы провели по облачной технологии, разместив сайт с помощью набора сервисов *Internet Information Services*. *Jquery* (набор функций *JavaScript*) служит как основной фреймворк по работе с клиентской частью программного кода. Задействовали также систему управления базами данных *PostgreSQL*. Мобильное приложение создали в интегрированной среде *Android studio*. (*Результаты и обсуждение*) Разработали автоматизированную систему для управления агротехнологиями. Сформировали структуру программно-аппаратной базы. Реализовали возможность работы системы в режиме диалога с пользователем посредством форм, на основе алгоритма выбора оптимальных вариантов технологических процессов при производстве продукции садоводства. Для проведения наземных осмотров в цифровом виде реализовали мобильное приложение. Определили порядок проведения наземных осмотров агрономами с помощью мобильного приложения. (*Выводы*) Разработали систему автоматизированного формирования и управления технологиями в садоводстве, которая обеспечивает оперативную обработку информационных потоков в реальном времени, отражающих особенности роста и состояния растений в критические фазы развития. Предусмотрели работу современных регистрирующих приборов и мобильного приложения. Показали, что система автоматически оптимизирует машинные технологии возделывания садовых культур по биологическим (реализация потенциальной биологической продуктивности культур) и экономическим (повышение эффективности использования производственных ресурсов) критериям.

Ключевые слова: сельскохозяйственные технологии, промышленное садоводство, автоматизированная система, дистанционный мониторинг, метеокомплекс.

■ **Для цитирования:** Хорт Д.О., Кутырев А.И., Смирнов И.Г., Воронков И.В. Разработка системы автоматизированного управления агротехнологиями в садоводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. №2. С. 61-68. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-61-68.

Development of an Automated Management System for Agricultural Technologies in Horticulture

Dmitriy O. Khort,

Ph.D.(Agri.), senior researcher;

Alexey I. Kutyrev,

Ph.D.(Eng.), researcher,

e-mail: alexeykutyrev@gmail.com;

Igor' G. Smirnov,

Dr.Sc.(Eng.), chief researcher;

Ilya V. Voronkov,

Ph.D.(Eng.), junior researcher

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The implementation of intelligent technologies in industrial horticulture is possible with the help of an automated system for managing production processes. (*Research purpose*) To develop and substantiate the parameters of an automated

management system for agricultural technologies in horticulture with the ability to conduct land inspections using a mobile application. (*Materials and methods*) ADO.NET driver Npqsql was used for work with the database. Dapper was used as Object Relational Mapping. The web application used the Model View Controller design pattern, and Bootstrap as the css framework. Data visualization from the database was carried out using cloud technology, placing the site using a set of Internet Information Services. JQuery (a set of JavaScript functions) served as the main framework for working with the client-side of the program code. The authors also used the PostgreSQL database management system. The mobile application was created in the Android studio integrated environment. (*Results and discussion*) The authors developed an automated system for managing agricultural technologies. They formed the structure of the hardware and software base. They created the system ability to operate in a dialogue mode with the user through forms, based on the algorithm for choosing the optimal options for technological processes in the horticultural products production. A mobile application was implemented to conduct digital land inspections. They determined the procedure for conducting land inspections by agronomists using a mobile application. (*Conclusions*) The authors developed a system for the automated technologies formation and management in horticulture, which provided operational processing of information flows in real time, reflecting the characteristics of the plants' growth and state in critical phases of development. They provided modern recording devices and a mobile application operation. They showed that the system automatically optimized machine technologies for the cultivation of horticultural crops according to biological (realization of the potential biological productivity of crops) and economic (increasing the efficiency of using production resources) criteria.

Keywords: agricultural technologies, industrial gardening, automated system, remote monitoring, meteorological complex.

■ For citation: Khort D.O., Kuttyrev A.I., Smirnov I.G., Voronkov I.V. Razrabotka sistemy avtomatizirovannogo upravleniya agrotekhnologiyami v sadovodstve [Development of an automated management system for agricultural technologies in horticulture]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N2. 61-68 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-61-68.

Анализ аппаратных средств управления производственными процессами в садоводстве показал необходимость разработки современной автоматизированной системы, которая полностью обеспечила бы реализацию интеллектуальных технологий в промышленном садоводстве [1-5]. Принятие решений при эффективном управлении сельхозпроизводством требует обработки значительного объема разнородной непредсказуемо изменяющейся информации, что связано с необходимостью учета большого количества различных по своей природе факторов (биологических, природно-климатических, материально-технических, экономических, человеческого) [6]. Разрабатываемая система должна обеспечивать сбор и хранение (в базе данных), обработку и передачу необходимой информации об объекте исследования, информацию об изменении факторов управления производственным процессом. Это дает в том числе и возможность оперативного реагирования на изменение климатических параметров с помощью изменения набора и состава сельскохозяйственных технологических операций.

Из множества баз данных наиболее эффективны реляционные, которые дают возможность на основе созданных таблиц данных получать готовые программные продукты, работающие в режиме онлайн-диалога с пользователем, и управлять машинными технологиями [7, 8]. Широкое внедрение таких программ позволяет не только хранить информацию о работе предприятий агропромышленного комплекса, но и формировать в автоматизированном режиме оптимальный состав тракторного парка для выбранной технологии производства продукции садоводства

[9-12]. Существует множество компьютерных программ с различными подходами к выбору оптимального состава машинно-тракторного парка [13-15].

Появление современных высокоскоростных компьютеров, мобильных устройств (*Smartphone*), планшетов с более мощными аппаратными возможностями и с разнообразными операционными системами, коммуникаторов (*communicator, PDA phone*), выполняющих функции ПК, облачных технологий открыло перспективы для коренного изменения ситуации в области информационной поддержки принимаемых решений [16, 17]. Телефон стал не только средством связи, но и эффективным ассистентом агронома, инженера или руководителя хозяйства. Круг решаемых с помощью мобильных устройств задач разнообразен и обеспечивает в том числе потребности ведения точного земледелия, среди которых информация о составе почвы, границах поля, урожайности, настройках машин и их местоположения, навигации. Могут быть использованы разветвленные базы данных, а также базы знаний, основанные на имитационных динамических моделях [18-20].

Для своевременного обнаружения проблем и сохранения урожая агрономы осматривают садовые насаждения еженедельно. Объем информации, генерируемый в результате таких постоянных осмотров, достаточно большой. Результаты фиксируются на бумажных носителях. Цифровизация данного процесса позволит значительно повысить эффективность хранения и обработки результатов проведения полевых осмотров с помощью мобильного приложения.

Цель исследования – разработать и обосновать параметры системы автоматизированного управле-

ния агротехнологиями в садоводстве с возможностью проведения наземных осмотров с помощью мобильного приложения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В состав системы поддержки принятия решений при управлении продукционным процессом включены три главных компонента:

- база данных (информационное обеспечение);
- база моделей;
- программная подсистема.

В указанную подсистему входят три системы управления:

- базой данных;
- базой моделей;
- интерфейсом между пользователем и компьютером.

Программно-аппаратный комплекс для проектирования агротехнологий в садоводстве, управления процессом формирования урожая состоит из следующих модулей:

1. Серверный модуль – ядро системы, содержит всю бизнес-логику программного комплекса и систему визуализации данных.

2. Метео-модуль – комплекс, состоит из метеодатчиков и GSM-модема, обеспечивающего дистанционную передачу данных с датчиков на сервер.

3. Мобильное приложение обеспечивает возможность сбора данных с садовых насаждений с фотофиксацией и определением местоположения объектов с последующей передачей данных на сервер.

Передача данных между серверной частью и метеостанцией и мобильным приложением осуществляется по GSM-каналу. Визуализация данных из базы данных происходит по облачной технологии с размещением сайта с помощью набора сервисов *IIS (Internet Information Services)*. Для работы с базой данных использован *ADO.NET*-драйвер *Npgsql*. В качестве *ORM (Object Relational Mapping)* задействован *Dapper*. В веб-приложении есть шаблон проектирования *MVC (Model View-Controller)*. Функции *css*-фреймворка выполняет *Bootstrap*. *Jquery* (набор функций *JavaScript*) используется как основной фреймворк при работе с клиентской частью кода. Технологией обращения к серверу без перезагрузки страницы служит *jquery.ajax*.

Для создания электронных карт необходимо обрисовать контуры садов по снимкам со спутников и беспилотных летательных аппаратов и выгрузить результаты в форматах *.shape* или *.kml*. После загрузки контур сада автоматически появится на карте и для каждого сада станет доступен полевой журнал (рис. 1).

Далее для выбранных садов подбирается оптимальная технологическая карта. Операции технологической карты привязываются ко всем выбранным на карте садам, а параметры операций рассчитываются в зависимости от их площади.

Технологические карты добавляются в систему

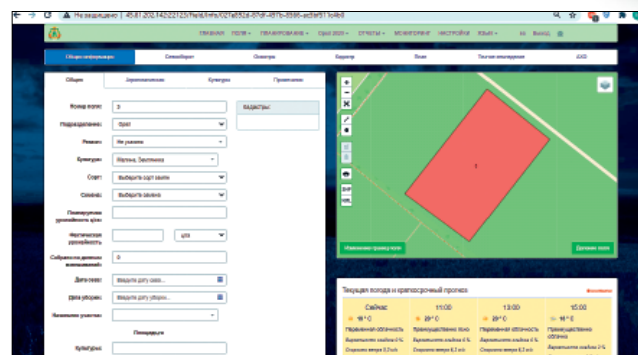


Рис. 1. Полевой журнал автоматизированной системы управления агротехнологиями в садоводстве

Fig. 1. Field journal of the automated agricultural technology management system in horticulture

перед началом сезона и корректируются при появлении соответствующих событий (тревог). При добавлении тревог задаются правила, выполнение которых будет автоматически формировать тревогу и оповещать пользователей.

Правила предусматривают любые данные из системы: с метеодатчиков, наземных осмотров от агрономов, с мобильных приложений и т.д. Для разработки мобильного приложения использовали интегрированную среду *Android studio*. Для сбора данных с помощью мобильного приложения на мобильное устройство (телефон или планшет) устанавливается разработанное приложение. При первоначальном запуске приложения происходит загрузка данных с сервера. После этого можно работать данными без доступа в интернет. А при появлении доступа данные приложения синхронизируются с сервером и таким образом передаются результаты наземных осмотров.

Для удаленного сбора данных с метеостанции прежде всего необходимо установить и настроить метеостанцию с комплектом датчиков в заданном месте. Посредством GSM-модема метеостанция с заданной периодичностью передает данные с датчиков на сервер. Частоту передачи задают при настройке. Полученные данные обрабатываются на сервере и затем выполняется их визуализация и аналитика. Система управления базами данных – *PostgreSQL*. База данных содержит связанные таблицы для хранения информации по контурам садовых насаждений, сельскохозяйственным культурам, полевым журналам, сорной растительности, вредителям, болезням, технологическим картам и наземным осмотрам. Структура базы данных позволяет гибко добавлять новые объекты и сущности при изменении функционала.

Аппаратная часть системы мониторинга метеопараметров состоит из метеостанции *Imetos 3.3*, где имеются датчики: температуры и влажности почвы и воздуха; температуры и влажности листа; скорости ветра; интенсивности света; содержания *CO₂*. Измерения обрабатываются и передаются на сервер с помо-

стью GSM-модема.

Для обеспечения необходимой производительности при проведении вычислительных операций использован процессор *Intel Xeon* – 6 ядер, частота 2,4 ГГц. Для оперативной работы с результатами расчетов и хранения кэша сайта предусмотрена оперативная память объемом от 16 Гб. Эти параметры устанавливаются в зависимости от одновременного количества пользователей. Для обеспечения высокой скорости отклика при доступе к данным сайта и базе данных использован *SSD*-диск для операционной системы и базы данных объемом 512 Гб. Для фотоснимков, сделанных мобильным приложением, и других загруженных данных установлен жесткий диск объемом от 500 Гб. Операционная система расположена на сервере *Windows Server 2019*.

Выявить оптимальный состав технических средств и вариантов технологических процессов при заданных условиях помогают оптимизационные модели. Система работает в режиме диалога с использованием кнопочных форм. Основу составляют таблицы данных, объединенные реляционной связью по ключевым полям, и математические модели, которые находятся в построителе выражений табличных запросов системы.

Для настройки программного обеспечения, проверки рассчитанных параметров проведен анализ работы разработанной системы и мобильного приложения на промышленной плантации (ВНИИСПК, Орловская обл., Жилина). Для этого в яблоневом саду сорта Северный синап установили метеостанцию

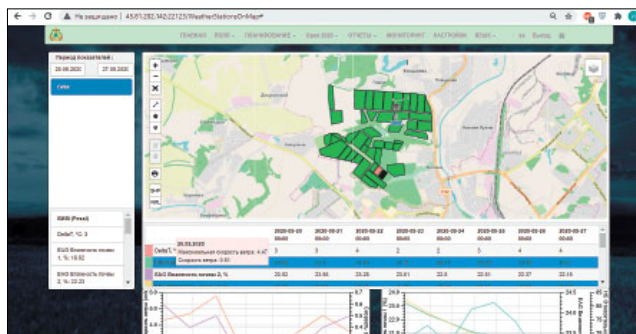


Рис. 2. Отображение расположения метеостанций на карте в интерфейсе системы

Fig. 2. Displaying the location of weather stations on the map in the system interface

Imetos 3.3 и набор необходимых датчиков.

Результаты и обсуждение. В разработанной системе происходят постоянный сбор данных с метеостанций и датчиков и их аналитика. Координаты расположения метеостанций автоматически указываются на карте (рис. 2).

Данные метеостанции передаются с облачного сервиса *FieldClimate iMETOS® Systems* в разработанную базу данных (рис. 3).

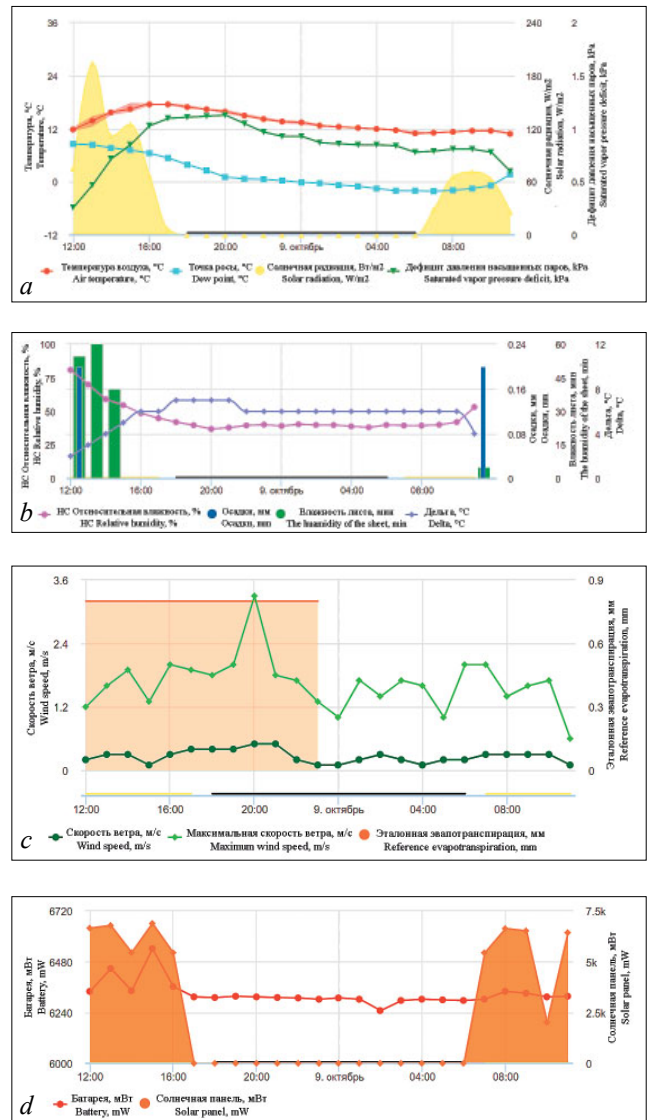


Рис. 3. Графики с метеостанции и подключенных к ней датчиков в интерфейсе разработанной системы

a – температура воздуха, точка росы, солнечная радиация, дефицит давления насыщенных паров; b – относительная влажность воздуха, осадки, влажность листа; c – скорость ветра и эталонная эвапотранспирация; d – заряд батареи и мощность солнечной панели

Fig. 3. Graphs from the installed weather station and sensors connected to it in the interface of the developed system

a – air temperature, dew point, solar radiation, saturated vapor pressure deficit; b – relative air humidity, precipitation, leaf moisture; c – wind speed and reference evapotranspiration; d – battery charge and solar panel power

При отклонении данных, полученных с метеостанций, от нормативных значений реализована возможность автоматического формирования событий (тревог). В тревоге отображается информация о причинах ее формирования и рекомендации по корректировке технологических карт. Пользователь может вносить корректировки вручную, либо согласует рекомендации, и тогда корректировки применяются в ав-

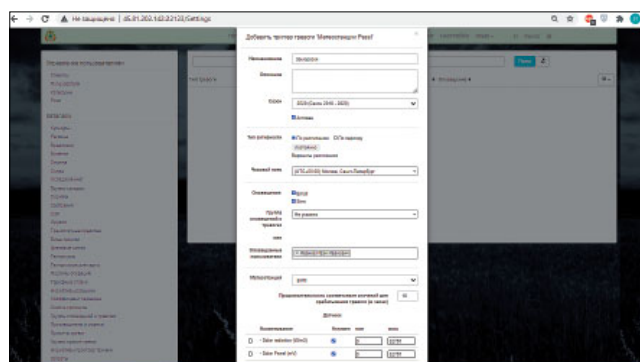


Рис. 4. Меню настройки добавления наступления различных видов тревог

Fig. 4. Settings menu for adding different types of alarms

томатическом режиме. Для добавления новых тревог необходимо в интерфейсе системы указать тип добавляемой тревоги. После выбора типа задаются правила формирования тревоги, оповещаемые пользователи, способы оповещений и частота проверки установленных правил (рис. 5).

При появлении новых тревог необходимо проанализировать место и причину их появления и подтвердить корректировки в плане технологических операций, если это необходимо. Корректировка технологических карт требуется при получении новой информации из сформированных тревог или наземных осмотров. Для корректировки технологических карт необходимо зайти на страницу корректируемой операции и выбрать нужные подоперации. В появившемся окне можно изменить сроки выполнения подоперации и другие параметры ее выполнения.

При обширных площадях садовых насаждений и большом количестве персонала, занятого в производстве, важна скорость передачи информации между персоналом. Включение тревог и оповещений при обнаружении болезней, сорной растительности, вредителей позволяет автоматически рассылать информацию по *sms*, *e-mail* или *telegram*-мессенджеру заданным сотрудникам, повысить оперативность обмена информацией и принятия управленческих решений по обработкам садов.

Система помогает технологу скомпоновать всю машинную технологию из имеющихся возможностей ее реализации, автоматически просчитывать стоимость выполнения технологии и выдавать итоговые значения оценочного показателя для принятия решения о целесообразности введения в производство выбранного сельхозагрегата. Конечный продукт работы системы – спроектированная технологическая карта с анализом стоимости выполнения технологических операций и трудозатрат на них в виде диаграмм. Целевую функцию оценки различных технологий возделывания и уборки плодово-ягодных культур определяют по критерию минимума суммарных удельных затрат:

$$A_i = \frac{\sum i \cdot (E_H + a_1) \cdot B_c \cdot K_n}{W_{ij} \cdot t_i \cdot K_{cm} \cdot K_{im} \cdot T_i} + \Pi_y \rightarrow \min,$$

где A_i – целевая функция оценки технологий возделывания и уборки плодово-ягодных культур;

E_H – нормативный коэффициент эффективности капиталовложений;

a_1 – норматив годовых отчислений на реновацию одной машины и трактора, руб.;

B_c – балансовая стоимость одной машины и трактора (для рабочих – затраты на оплату труда), руб.;

K_n – коэффициент использования машины, трактора на работе относительно годовой загрузки на всех работах, то есть отношение времени использования одной машины, трактора на i -ой работе к суммарному времени ее годового использования;

W_{ij} – производительность j -го агрегата за час эксплуатационного времени, га/ч;

t_i – продолжительность смены на i -ой работе, ч;

K_{cm} – коэффициент сменности i -ой работы;

K_{im} – коэффициент использования календарного времени по метеоусловиям при выполнении i -ой работы;

T_i – продолжительность выполнения i -ой работы, дн.;

Π_y – потери урожайности по метеоусловиям, т/га.

Для проведения наземных осмотров в цифровом виде разработано мобильное приложение. Агроному необходимо установить приложение на мобильное устройство с операционной системой *Android*. Приложение позволяет работать в садах при отсутствии доступа в интернет, сохраняя данные в базе данных на мобильном устройстве, и передавать их на сервер при появлении доступа. Агроном может оперативно фиксировать все, что происходит в садах, с помощью мобильного устройства и при этом одновременно сохранять все данные в базе данных на сервере разработанной системы.

При добавлении нового осмотра агроном делает фотографию с помощью мобильного устройства и заполняет параметры осматриваемого сада: состояние почвы, растений, наличие болезней, сорной растительности, вредителей и др. Одновременно с этим фиксируется текущее местоположение мобильного устройства.

Таким образом, любой осмотр состоит из трех составляющих:

- координаты местоположения агронома в момент осмотра;
- фотография;
- параметры, заполненные агрономом в момент осмотра.

В дальнейшем все проведенные осмотры визуализируются на единой карте в интерфейсе системы. Можно оперативно оценить, как развивается сад в том или ином месте, и понять, в каких зонах сада распространяются болезни, сорная растительность или вредители (рис. 5).

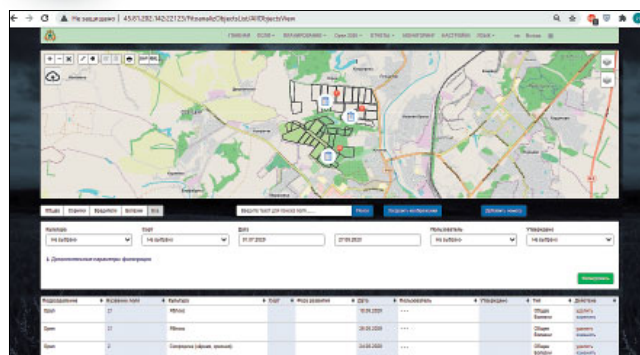


Рис. 5. Результаты проведения наземных осмотров садовых насаждений в интерфейсе разработанной системы

Fig. 5. Results of land inspections of garden plantings in the developed system

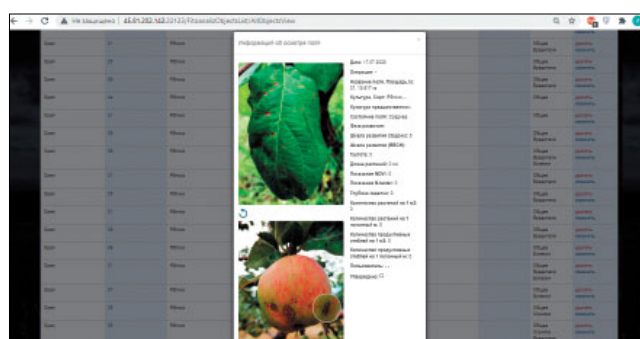


Рис. 6. Меню результатов проведения наземных осмотров садовых насаждений в мобильном приложении

Fig. 6. Menu of results of land inspections of horticulture plantings in the mobile app

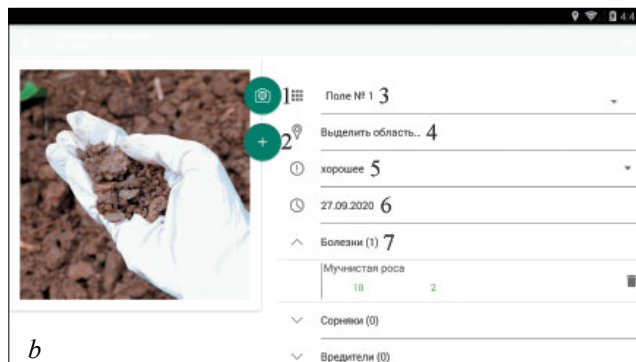
При необходимости агроном может предоставить экспертам ссылку на проведенный осмотр с фотографиями и локацией из мобильного приложения и получить рекомендацию по принятию дальнейших решений (рис. 6).

Разработан порядок проведения наземных осмотров с помощью мобильного приложения (рис. 7).

В графе 1 инструмент «+» позволяет добавлять к осмотру болезни, вредителей и сорную растительность, обнаруженные специалистом. В графе 2 инструмент «камера» дает возможность прикреплять к осмотру фотографии – как с камеры, так и из памяти мобильного телефона. В графе 3 отображается участок поля, где находится проводящий осмотр агроном, его координаты автоматически определяются по геопозиции мобильного телефона. Графа 4 используется для обозначения площади проведенного осмотра. В графе 5 отражается общее состояние участка поля, можно выбрать одно из четырех значений: плохое, среднее, хорошее, отличное. В графе 6 указывается дата проведения осмотра, по умолчанию, установлена дата создания осмотра. В графе 7 указываются выявленные на участке болезни, сорная растительность и вредители. В дополнительной информации указывается информация о развитии растений (качественные из-



a



b

Рис. 7. Интерфейс мобильного приложения для проведения наземных осмотров садовых насаждений: а – меню добавления осмотров; б – меню добавления различных видов тревог

Fig. 7. The interface of the mobile application to conduct land inspections of garden plantings: a – menu for adding inspections, b – menu for adding different types of alarms

менения). После заполнения всей необходимой информации выполняется автоматическая синхронизация мобильного приложения с системой для передачи полученных данных. Для поиска проведенных осмотров добавлен фильтр в меню «Осмотры».

Регулярные цифровые наземные осмотры с помощью разработанного мобильного приложения составляют основу для дальнейшей роботизации производства. На основании информации о том, в каких местах сада обнаружены болезни, сорная растительность, вредители, возможно автоматическое формирование карт заданий для наземной техники или беспилотных летательных аппаратов, что позволит обеспечить точечную обработку проблемных зон нужными химикатами.

Выводы. Разработанная система автоматизированного управления агротехнологиями в садоводстве обеспечивает оперативную обработку в реальном времени информационных потоков, определяющих особенности роста и состояния растений в критические фазы их развития от современных регистрирующих приборов (метеостанции, пробоотборники, анализаторы), оптимизацию машинных технологий возделывания кустарниковых ягодных культур по биологическим (реализация потенциальной биологической продуктивности культур) и экономическим (повыше-

ние эффективности использования производственных ресурсов) критериям.

Сформирована структура управления агротехнологиями в садоводстве, производственным процессом многолетних культур с онлайн-сервисом и мобильным приложением. Предоставлена возможность анализировать информацию, поступающую от датчиков и регистрирующих приборов, и вырабатывать оптимальные управляющие решения при построении и

управлении технологией с целью минимизации потерь урожая, вызванных отклонением факторов природно-климатических условий. Информация, полученная от агрономов с разработанного мобильного приложения, считается наиболее точной и позволяет принимать эффективные управленческие решения. Автоматизация данных процессов позволяет повысить скорость и качество принимаемых решений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Fountas S., Sorensen C.G., Tsiropoulos Z., Cavalaris C., Liakos V., Gemtos T. Farm machinery management information system. *Computers and electronics in agriculture*. 2015. Vol. 110. 131-138.
2. Kaloxylas A., Groumas A., Sarris V., Katsikas L., Magdalinos P., Antoniou E., Politopoulou Z., Wolfert S., Brewster C., Eigenmann R., Maestre Terol C. A cloud-based farm management system: architecture and implementation. *Computers and electronics in agriculture*. 2014. Vol. 100. 168-179.
3. Kaivosoja J., Jackenkroll M., Linkolehto R., Weis M., Gerhards R. Automatic control of farming operations based on spatial web services. *Computers and electronics in agriculture*. 2014. Vol. 100. 110-115.
4. Paraforos D. S., Vassiliadis V., Kortenbruck D., Stamkopoulou K., Ziogas V., Sapounas A.A., Griepentrog H.W. Multi-level automation of farm management information systems. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2017. Vol. 142. 504-514.
5. Ampatzidis Y., Tan L., Haley R., Whiting M.D. Cloud-based harvest management information system for hand-harvested specialty crops. *Computers and electronics in agriculture*. 2016. Vol. 122. 161-167.
6. Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M.-J. Big data in smart farming – a review. *Agricultural systems*. 2017. Vol. 153. 69-80.
7. Blank S., Bartolein C., Meyer A., Ostermeier R., Rostanin O. IGreen: a ubiquitous dynamic network to enable manufacturer independent data exchange in future precision farming. *Computers and electronics in agriculture*. 2013. Vol. 98. 109-116.
8. Paraforos D.S., Vassiliadis V., Kortenbruck D., Stamkopoulou K., Ziogas V., Sapounas A.A., Griepentrog H.W. A farm management information system using future internet technologies. *IFAC-PapersOnLine*. 2016. Vol. 49. 324-329.
9. Артюшин А., Смирнов И.Г., Хорт Д.О., Филиппов Р.А. Особенности разработки интеллектуальной системы управления в садоводстве // *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2016. N2. С. 148-153.
10. Цымбал А.А., Хорт Д.О. Освоение принципов программирования урожая при автоматизированном проектировании агротехнологий возделывания черной смородины // *Вестник ФГОУ ВПО МГАУ имени В.П. Горячкина*. 2013. N1(57). С. 27-29.
11. Хорт Д.О., Филиппов Р.А. Особенности функционирования системы автоматизированного управления производственными процессами (АСУПП) в садоводстве // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2013. N2(4). С. 70-74.
12. Zubina V.A., Kutryev A.I. Development of a software package for the tractor fleet formation in agricultural organizations. *MATEC Web of Conferences (ICMTMTE 2019)*. 2019. N00102.
13. Валге А.М., Папушин Э.А., Пакскина Е.Г. Использование информационных технологий при проектировании процессов производства продукции растениеводства // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2012. N3. С. 17-18.
14. Зыков А.В., Юнин В.А., Захаров А.М. Модель оптимизации состава машинно-тракторного парка на основе применения адаптивных технологий производства сельскохозяйственной продукции в условиях северо-западного региона РФ // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2018. N11. С. 47-51.
15. Личман Г.И., Смирнов И.Г., Беленков А.И. Использование мобильного телефона в системах точного земледелия // *Нивы России*. 2017. N2(146). С. 58-61.
16. Milrad M., Spikol D. Anytime, anywhere learning supported by smart phones: experiences and results from the musis project. *Educational Technology and Society*. 2007. Vol. 10. N4. 62-70.
17. Chaovalit P., Saiprasert C., Pholprasit T. A method for driving event detection using sax with resource usage exploration on smartphone platform. *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*. 2014. Article N135.
18. Palanisamy S., Selvaraj R., Ramesh T., Ramesh T., Ponnusamy J., Ponnusamy J. Applications of Smartphone-Based Sensors in Agriculture: A Systematic Review of Research. *Journal of Sensors*. 2015. Article ID 195308.
19. Mosa A.S.M., Yoo I., Sheets L. A systematic review of healthcare applications for smartphones. *BMC Medical Informatics and Decision Making*. 2012. Vol. 12. N1(67).
20. Habib M.A., Mohktar M.S., Kamaruzzaman S.B., Lim K.S., Pin T.M., Ibrahim F. Smartphone-based solutions for fall detection and prevention: challenges and open issues. *Sensors*. 2014. Vol. 14. N4. 7181-7208.

REFERENCES

1. Fountas S., Sorensen C.G., Tsiropoulos Z., Cavalaris C., Liakos V., Gemtos T. Farm machinery management information system. *Computers and electronics in agriculture*. 2015. Vol. 110. 131-138 (In English).
2. Kaloxylas A., Groumas A., Sarris V., Katsikas L., Magdalinos P., Antoniou E., Politopoulou Z., Wolfert S., Brewster C., Eigenmann R., Maestre Terol C. A cloud-based farm management system: architecture and implementation. *Computers and*

- electronics in agriculture*. 2014. Vol. 100. 168-179 (In English).
3. Kaivosoja J., Jackenkroll M., Linkolehto R., Weis M., Gerhards R. Automatic control of farming operations based on spatial web services. *Computers and electronics in agriculture*. 2014. Vol. 100. 110-115 (In English).
 4. Paraforos D. S., Vassiliadis V., Kortenbruck D., Stamkopoulos K., Ziogas V., Sapounas A. A., Griepentrog H.W. Multi-level automation of farm management information systems. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2017. Vol. 142. 504-514 (In English).
 5. Ampatzidis Y., Tan L., Haley R., Whiting M.D. Cloud-based harvest management information system for hand-harvested specialty crops. *Computers and electronics in agriculture*. 2016. Vol. 122. 161-167 (In English).
 6. Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M.-J. Big data in smart farming – review. *Agricultural systems*. 2017. Vol. 153. 69-80 (In English).
 7. Blank S., Bartolein C., Meyer A., Ostermeier R., Rostanin O. IGreen: a ubiquitous dynamic network to enable manufacturer independent data exchange in future precision farming. *Computers and electronics in agriculture*. 2013, Vol. 98. 109-116 (In English).
 8. Paraforos D.S., Vassiliadis V., Kortenbruck D., Stamkopoulos K., Ziogas V., Sapounas A.A., Griepentrog H.W. A farm management information system using future internet technologies. *IFAC-PapersOnLine*. 2016. Vol. 49. 324-329 (In English).
 9. Artyushin A., Smirnov I.G., Khort D.O., Filippov R.A. Osobennosti razrabotki intellektual'noy sistemy upravleniya v sadovodstve [Features of the development of an intelligent control system in horticulture]. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2016. N2. 148-153 (In Russian).
 10. Cymbal A.A., Khort D.O. Osvoenie printsipov programirovaniya urozhaya pri avtomatizirovannom proektirovanii agrotehnologii vozdeleyvaniya chernoy smorodiny [Mastering the principles of programming the crop in the automated design of agricultural technologies for the cultivation of black currant]. *Vestnik FGOU VPO MGAU imeni V.P. Goryachkina*. 2013. N1(57). 27-29 (In Russian).
 11. Khort D.O., Filippov R.A. Osobennosti funktsionirovaniya sistemy avtomatizirovannogo upravleniya produktsionnymi processami (ASUPP) v sadovodstve [Features of the functioning of the automated control system for production processes (ACSUP) in horticulture]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2013. N2(4). 70-74 (In Russian).
 12. Zubina V.A., Kutuyev A.I. Development of a software package for the tractor fleet formation in agricultural organizations. *MATEC Web of Conferences (ICMTMTE 2019)*. 2019. N00102 (In English).
 13. Valge A.M., Papushin E.A., Pakskina E.G. Ispol'zovanie informatsionnykh tekhnologiy pri proektirovanii processov proizvodstva produktsii rastenievodstva [The use of information technology in the design of crop production processes]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2012. N3. 17-18 (In Russian).
 14. Zykov A.V., Yunin V.A., Zaharov A.M. Model' optimizatsii sostava mashinno-traktornogo parka na osnove primeneniya adaptivnykh tekhnologiy proizvodstva sel'skookhozyaystvennoy produktsii v usloviyakh severo-zapadnogo regiona RF [A model for optimizing the composition of the machine and tractor fleet based on the use of adaptive technologies for the production of agricultural products in the northwestern region of the Russian Federation]. *International research journal*. 2018. N11. 47-51 (In Russian).
 15. Lichman G.I., Smirnov I.G., Belenkov A.I. Ispol'zovanie mobil'nogo telefona v sistemakh tochnogo zemledeliya [Using a mobile phone in precision farming systems]. *Nivy Rossii*. 2017. N2(146). 58-61 (In Russian).
 16. Milrad M., Spikol D. Anytime, anywhere learning supported by smart phones: experiences and results from the musis project. *Educational Technology and Society*. 2007. Vol. 10. N4. 62-70 (In English).
 17. Chaovalit P., Saiprasert C., Pholprasit T. A method for driving event detection using sax with resource usage exploration on smartphone platform. *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*. 2014. N1(135) (In English).
 18. Palanisamy S., Selvaraj R., Ramesh T., Ramesh T., Ponnusamy J., Ponnusamy J. Applications of Smartphone-Based Sensors in Agriculture: A Systematic Review of Research. *Journal of Sensors*. 2015. Article ID 195308. 18 pages (In English).
 19. Mosa A.S.M., Yoo I., Sheets L. A systematic review of healthcare applications for smartphones. *BMC Medical Informatics and Decision Making*. 2012. Vol. 12. N1(67) (In English).
 20. Habib M.A., Mohktar M. S., Kamaruzzaman S.B., Lim K.S., Pin T.M., Ibrahim F. Smartphone-based solutions for fall detection and prevention: challenges and open issues. *Sensors*. 2014. Vol. 14, N4. 7181-7208 (In English).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

**Статья поступила в редакцию 21.01.2021
The paper was submitted
to the Editorial Office on 21.01.2021**

**Статья принята к публикации 14.05.2021
The paper was accepted
for publication on 14.05.2021**

Способ контроля продуктивности растения

Александр Петрович Гришин,
доктор технических наук,
главный научный сотрудник;
Андрей Александрович Гришин,
кандидат экономических наук,
старший научный сотрудник;

Наталья Александровна Семенова,
кандидат сельскохозяйственных наук,
старший научный сотрудник,
e-mail: 5145411@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Показали, что управление продукционными процессами в растении в системе закрытых искусственных агроэкосистем – необходимое условие получения высоких урожаев. Важно контролировать интенсивность этих процессов в динамическом режиме. *(Цель исследования)* Разработать способ неразрушающего контроля роста продуктивности растений для создания алгоритмов управления продукционными процессами. *(Материалы и методы)* Изучили зависимость продуктивности растения от температуры листа. Определили прирост листовой массы растения с помощью цифровых весов, провели учет температуры листа и контрольного объекта пирометрическим термометром, измерили площадь листовой поверхности. *(Результаты и обсуждение)* Получили значения параметров растения и окружающей среды и, учитывая расход влаги на транспирационное охлаждение, установили значения прироста листовой массы салата (*Latuca sativa* L.), которые будут использованы в совокупности с другими измеренными параметрами растения и окружающей среды для управления лимитирующими факторами в закрытых искусственных агроэкосистемах. *(Выводы)* Разработали способ неразрушающего контроля роста продуктивности растений в климатических камерах на примере салата сорта Красный дуболистный. Определили, что прирост зеленой массы имеет максимум, если масса охлаждающей воды при испарении равна 0,65 грамма, то есть растение стремится максимально использовать свободную энергию и определяющие ее продуктивные факторы. Рассчитанные по результатам эксперимента весовые значения (2,0 грамма) соответствуют данным, полученным в Омском государственном аграрном университете (1,9 грамма), с точностью 5 процентов. **Ключевые слова:** эксергия светового излучения, фотосинтез, транспирационное охлаждение, прирост листовой массы, салат, цифровые агротехнологии, продукционный процесс, закрытые искусственные агроэкосистемы.

■ Для цитирования: Гришин А.П., Гришин А.А., Семенова Н.А. Способ контроля продуктивности растения // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. №2. С. 69-74. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-69-74.

Non-Destructive Testing of Growth Productivity

Alexandr P. Grishin,
Dr.Sc.(Eng.), senior researcher;
Andrey A. Grishin,
Ph.D.(Econ.), chief researcher;

Natalya A. Semenova,
Ph.D.(Agric.), senior researcher,
e-mail: 5145411@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The necessary condition for obtaining high yields is the management of plant production processes in closed artificial agroecosystems. It is important to control the intensity of these processes in a dynamic mode. *(Research purpose)* To develop a non-destructive method for controlling the plant productivity growth to create algorithms for controlling the plant production processes. *(Materials and methods)* The authors studied the dependence of plant productivity on leaf temperature. They determined the increase in plant leaf mass using digital scales, studied the leaf temperature and the control object with a pyrometric thermometer and measured the leaf surface area. *(Results and discussion)* The authors obtained the values of plant and environmental parameters and, taking into account the moisture consumption for transpiration cooling, determined the values of the lettuce leaf mass growth (*Latuca sativa* L.), which would be used in conjunction with other measured plant and environmental parameters to control the limiting factors in closed artificial agroecosystems. *(Conclusions)* The authors developed a non-destructive method to control

plant productivity growth in climatic chambers using the example of Krasnyy Dubolistnyy lettuce. It was determined that the green mass growth rate had a maximum if the mass of cooling water during evaporation was 0.65 gram. That meant the plant tried to maximize the use of free energy and the productive factors that determined it. The weight values calculated from the experiment results (2.0 grams) corresponded to the data obtained at the Omsk State Agrarian University (1.9 gram) with an accuracy of 5 percent.

Keywords: light radiation exergy, photosynthesis, transpiration cooling, leaf mass growth, lettuce, digital agricultural technologies, production process, closed artificial agroecosystems.

For citation: Grishin A.P., Grishin A.A., Semenova N.A. Sposob kontrolya produktivnosti rasteniya [Method for controlling plant productivity]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N2. 69-74 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-69-74.

Обообщение аграрно-экологических знаний необходимо для полноценного использования цифровых технологий и техники. Программирование урожая – это «не просто использование математики и компьютерной техники в агроэкологии, а использование новейших достижений фундаментальной науки» [1].

Большинство операций и процессов, применяемых в агротехнологиях растениеводства, направлены на повышение КПД использования растениями эксергии светового излучения, которая расходуется на фотосинтез и формирование урожая [2, 3]. Очевидна необходимость совместного эксергетического анализа как преобразования растениями энергии излучения в процессе фотосинтеза, так и затрат техногенной энергии на управление продукционными процессами цифровых агротехнологий [4-6].

Продукционный процесс в растении зависит от факторов внешней среды, при этом растение само способно трансформировать средообразующие факторы через изменение газообмена, транспирацию, архитектуру посевов. Таким образом, в основе роста урожайности лежит повышение эффективности продукционных процессов [7, 8].

Управление продукционными процессами в растении в системе закрытых искусственных агроэкосистем – необходимое условие получения высоких урожаев. Важно контролировать интенсивность этих процессов в динамическом режиме. Наиболее точный вариант такого контроля – регулярное определение листовой массы растений и ее динамики в режиме онлайн методом взвешивания. Однако взвесить лист, не разрушив самого растения и среду его произрастания, довольно затруднительно.

Цель исследования – разработать способ неразрушающего контроля роста продуктивности растений для создания алгоритмов управления продукционными процессами растений.

Методы и материалы. Объект исследования – терморегуляционные показатели салата сорта Красный дуболистный.

Для нахождения зависимости продуктивности растения от температуры листа провели опыт по определению прироста листовой массы посредством из-

менения массы растения и параметров среды окружения. Испарение влаги с поверхности субстрата исключали с помощью изоляции его от окружающей среды в герметичном боксе, имеющем сальниковое уплотнение для выхода стебля растения.

При измерении массы растения учитывали уменьшение показателя в ходе испарительного охлаждения и его увеличение в результате прироста листовой массы:

$$W_{t_2} - W_{t_1} = W_{\text{прирост}} - W_{\text{испар}} \quad (1)$$

где W_{t_2} – масса растения вместе со средой произрастания (субстратом) в момент времени t_2 , г;

W_{t_1} – масса растения вместе со средой произрастания (субстратом) в момент времени t_1 , г;

$W_{\text{прирост}}$ – прирост листовой массы за интервал времени $t_2 - t_1$, г;

$W_{\text{испар}}$ – масса влаги испарительного охлаждения за интервал времени $t_2 - t_1$, г.

Массу измеряли с трехкратным повторением ежедневно (3600 с) в течение 16 ч на одном растении.

Температуру определяли пирометрическим термометром *Fluke* (Кельвин ИКС 4-20/5), массу – цифровыми весами (*ML-A01*) с точностью измерения 0,01 г. Площадь листа вычисляли с помощью специализированного ПО на базе *CorelDraw*.

Результаты и обсуждение. Значения W_{t_2} и W_{t_1} – измеряемые, а для определения $W_{\text{прирост}}$ необходимо знать объем испаряемой растением влаги за интервал времени. Для этого учитывали площадь листьев и разницу температур. Известно, что для обеспечения максимальной скорости фотосинтеза растение самостоятельно регулирует собственную температуру посредством испарительного охлаждения [9, 10]. Объем испаряемой влаги напрямую зависит от разности температур (оптимальной для растения и температуры окружающего воздуха) и площади поверхности листа (чем больше площадь листьев, тем больше влаги испаряется за единицу времени). Для определения необходимых значений растение со средой произрастания, исключаяющей испарение влаги каким-либо иным способом, кроме транспирационного, помещали на весы в замкнутую агроэкосистему с искусственным освещением и поддержанием стабильных кли-

Таблица 1

Table 1

ДИНАМИКА ПАРАМЕТРОВ КОНТРОЛЬНОГО РАСТЕНИЯ
DYNAMICS OF THE CONTROL PLANT PARAMETERS

Параметры Parameters	Интервалы замера, с / Measurement intervals, s					
	3600	4080	6600	10800	12600	14400
Масса растения, г Plant weight, g	0,24	0,19	0,60	0,92	1,45	1,09
Температура листа, °C Leaf temperature, °C	27,80	28,20	29,80	27,80	27,40	20,60
Температура контрольного объекта, °C Control object temperature, °C	28,20	28,60	31,60	32,00	29,40	22,80
Разница температур листа и контрольного объекта, °C Temperature difference between leaf and control object, °C	0,01	0,40	1,00	2,00	2,20	2,40
Расход воды, г/(м ² ·с) Water consumption, g/(m ² ·s)	0,0030	0,0098	0,009	0,0125	0,0160	0,0140

матических параметров [11-13]. Для учета разницы температуры в ходе испарительного охлаждения измеряли температуру поверхности листа и поверхности куска картона зеленого цвета в качестве контрольного объекта (для одинакового поглощения теплового излучения источника света, обеспечивающего нагрев листа).

После стабилизации температур поверхности листа и контрольного объекта проводили интервальный (t_1 и t_2) замер параметров, необходимых для расчета расхода влаги на транспирационное охлаждение (табл. 1, рис. 1).

Замеры проводили в течение 6 ч, чтобы исключить сопутствующий измерениям прирост листовой массы и в то же время обеспечить достаточный изменяемый объем массы испаряемой воды.

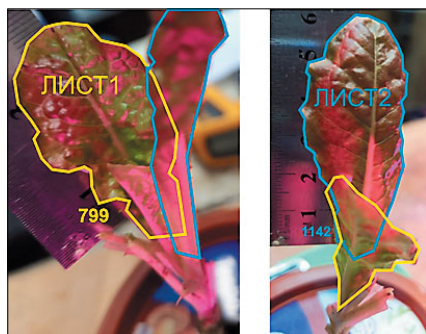


Рис. 1. Измерение площади листьев контрольного растения с помощью программы CorelDraw (суммарная площадь двух листьев 0,001941 м²)

Fig. 1. Measuring the leaf area of a control plant with CorelDraw (Total area 0.001941 m²)

За интервал времени измерений растение стабильно поддерживало свою температуру 29,2°C. Температура контрольного объекта за данный интервал продолжала расти и стабилизировалась на отметке 32,2°C. Расход влаги на транспирационное охлаждение определяли по формуле (2):

$$Q_{\text{испар}} = \frac{W_{t1} - W_{t2}}{(t_2 - t_1) \cdot S_{\text{листа}}}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{испар}}$ – расход влаги на транспирационное охлаждение, г/(м²·с);

$S_{\text{листа}}$ – площадь поверхности листа, м².

Подставив полученные в процессе измерения значения в формулу (2), получим расход влаги на транспирационное охлаждение 1 м² листа в секунду для соответствующей разницы температур. Затем, построив линию тренда (рис. 2), определим функциональную зависимость:

$$Q_{\text{испар}} = 0,011 (T_{\text{контр}} - T_{\text{лист}})^{0,2804}, \quad (3)$$

где $T_{\text{контр}}$ – температура контрольного объекта, С°.

$T_{\text{лист}}$ – температура листа для сравнения с контрольным объектом, С°.

Достоверность аппроксимации составила 0,95.

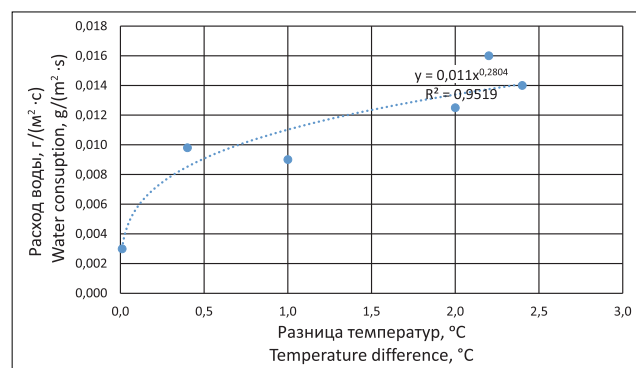


Рис. 2. Линия тренда зависимости расхода воды от разницы температур листа и контрольного объекта

Fig. 2. The trend line of the water consumption dependence on the temperature difference between the leaf and the control object

Полученные данные использовали для определения прироста листовой массы растения салата в динамическом режиме. Для вычислений использовали данные, полученные регистратором растений, разработанным в ФНАЦ ВИМ [14]. Он определяет 12 параметров, в том числе массу растения, температуру поверхности листа, температуру окружающего воздуха.

Получив значения параметров и учитывая расход влаги на транспирационное охлаждение (3), опреде-

лили прирост листовой массы для растения салата (табл. 2):

$$W_{\text{прирост}} = W_{t_2} - W_{t_1} + W_{\text{испар}}; \quad (4)$$

$$W_{\text{испар}} = S_{\text{лист}} \cdot 0,011 \cdot (T_{\text{контр}} - T_{\text{лист}}) \cdot 0,2804 \cdot (t_2 - t_1). \quad (5)$$

Наблюдаемое растение имеет 12 листьев, суммарная площадь которых составила 17981 мм² (0,017981 м²). Площадь этих листьев определяли аналогичным контрольному способом – с применением специализированного ПО *CorelDraw*.

Данные отклонения проверили на предмет достоверности, для чего определили доверительный интервал значений массы: $W = 407,56 \dots 427,34$ г (математическое ожидание $M = 415,30$ г; среднеквадратическое отклонение $\sigma = 5,03$). Измеренные значения соответствуют доверительному интервалу и критерию достоверности.

Рассчитанные по результатам эксперимента весо-

вые значения соответствуют данным, полученным в ранее проведенных исследованиях Л.Я. Плотниковой и др. в Омском государственном аграрном университете имени П.А. Столыпина: масса одного растения составила 45 г за 16 суток роста, что для 16 ч равно 1,9 г. Кроме того, согласно формуле (4), $W_{\text{прирост}} = -8,1 + 10,1 = 2,0$ г, что также подтверждает достоверность результатов с точностью 5%.

Полученные значения прироста листовой массы растения в дальнейшем будут использованы в совокупности с другими измеренными параметрами растения и окружающей среды для выявления закономерностей и зависимостей влияния агроклиматических параметров на продукционные процессы растений [15, 16]. Это необходимо для разработки алгоритмов управления продукционными процессами растений посредством воздействия на факторы среды и управления лимитирующими факторами в закрытых искусственных агроэкосистемах.

Таблица 2
Table 2

РАСЧЕТ ПРИРОСТА ЛИСТОВОЙ МАССЫ САЛАТА ЗА 16 Ч НАБЛЮДЕНИЙ
CALCULATION OF THE LEAF MASS GROWTH FOR 16 HOURS OF OBSERVATION

Интервалы наблюдений, ч Observation intervals, h	Измеренные значения / Measured values			Расчетные значения / Calculated values			
	температура контрольного объекта, °C control object temperature, °C	температура листа растения, °C leaf temperature, °C	масса растения, г plant weight, g	разница температур контрольного объекта и листа растения, °C temperature difference between leaf and control object, °C	изменение массы растения, г plant weight change, g	масса влаги испарительного охлаждения, г cooling water weight, g	прирост листовой массы растения, г plant leaf weight gain, g
1	27,13	26,59	421,40	0,54	–0,50	0,65	0,15
2	27,44	26,93	421,00	0,51	–0,40	0,45	0,05
3	27,81	26,97	420,40	0,84	–0,60	0,67	0,07
4	28,00	27,13	419,90	0,87	–0,50	0,73	0,23
5	28,19	27,59	419,20	0,60	–0,70	0,73	0,03
6	28,31	27,55	418,65	0,76	–0,55	0,58	0,03
7	28,25	27,21	418,15	1,04	–0,50	0,62	0,12
8	28,19	27,33	417,60	0,86	–0,55	0,71	0,16
9	28,13	27,27	417,00	0,86	–0,60	0,72	0,12
10	28,80	27,19	416,60	1,61	–0,40	0,65	0,25
11	28,40	27,19	416,10	1,21	–0,50	0,50	0,00
12	28,00	27,19	415,55	0,81	–0,55	0,58	0,03
13	28,38	27,59	415,00	0,79	–0,55	0,79	0,24
14	28,56	27,81	414,70	0,75	–0,30	0,49	0,19
15	28,63	27,79	414,20	0,84	–0,50	0,63	0,13
16	28,75	27,85	413,80	0,90	–0,40	0,60	0,20
Сумма / Total	–	–	–	–	–8,10	10,10	2,00

Используя полученные данные прироста листовой массы, предварительно отсортировав их совместно с данными $W_{\text{испар}}$ по возрастанию, построили график зависимости $W_{\text{прирост}}$ ($W_{\text{испар}}$), определив линию тренда с ее аналитическим выражением (рис. 3). Найдя производную выражения и приравняв ее к нулю, нашли абсциссу максимума зависимости.

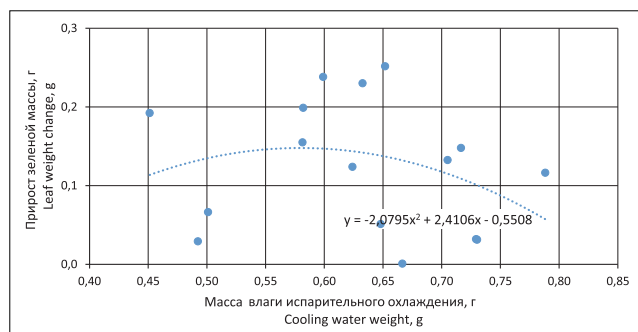


Рис. 3. Зависимость прироста листовой массы от массы охлаждающей воды при терморегуляции

Fig. 3. Dependence of the leaf mass growth on the cooling water mass during thermoregulation

Наибольший прирост массы растения соответствует массе испаряемой охлаждающей воды, равной 0,65 г (рис. 3). Данный результат подтверждает значимость влияния терморегуляции на продукционные процессы в растении. Согласно закону выживания, растение в своем развитии стремится максимально использовать свободную энергию и определяющие ее продуктивные факторы.

Выводы. Разработали способ неразрушающего контроля роста продуктивности растений в климатических камерах на примере салата сорта Красный дуболистный. Рассчитанные по результатам эксперимента весовые значения прироста листовой массы растения 2,0 г соответствуют данным, полученным в ранее проведенных исследованиях Омского государственного аграрного университета имени П.А. Столыпина: масса одного растения составила 1,9 г, что также подтверждает достоверность результатов с точностью 5%.

Этот способ необходим для разработки алгоритма управления продукционными процессами в цифровых замкнутых агроэкосистемах. Основываясь на данных массы всего растения, текущей площади его листьев и разницы температур окружающего воздуха и листьев растений, можно определить листовую массу растений. При оценке ее динамики алгоритм управления климатическими параметрами в искусственной замкнутой агроэкосистеме получает сигнал обратной связи для контроля результатов управляющего воздействия на продуктивность растений.

Установили, что зависимость прироста зеленой массы от массы охлаждающей воды при испарении имеет максимум при значениях испаряемой воды 0,65 г. Это свидетельствует о стремлении растения в своем развитии максимально использовать свободную энергию и определяющие ее продуктивность факторы. Данный результат подтверждает значимость влияния терморегуляции на продукционные процессы в растении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ковалев В.М. Теория урожая. М.: МСХА. 2003. 331 с.
2. Ghasemkhani H., Keyhani A., Aghbashlo M., Rafiee S., Mujumdar A.S. Improving exergetic performance parameters of a rotating-tray air dryer via a simple heat exchanger. *Applied Thermal Engineering*. 2016. N94. 13-23.
3. Silva C.S., Seider W.D., Lior N. Exergy efficiency of plant photosynthesis. *Chemical engineering science*. 2015. Vol. 130. 151-171.
4. Свентицкий И.И. Принципы энергосбережения в АПК. Естественная методология. М.: ВИЭСХ. 2001. 192 с.
5. Свентицкий И.И. Энергосбережение в АПК и энергетическая экстремальность самоорганизации. М.: ВИЭСХ. 2007. 468 с.
6. Свентицкий И.И. Естественная основа всеединства знаний. Эксергетическая теория урожая. М.: ВИЭСХ. 2015. 316 с.
7. Ouyang Z., Tian J., Yan X., Shen H. Effects of different concentrations of dissolved oxygen or temperatures on the growth, photosynthesis, yield and quality of lettuce. *Agricultural water management*. 2020. Vol. 228. N105826.
8. Gustafson E.J., Miranda B.R., De Bruijn A.M.G. Do rising temperatures always increase forest productivity? Interacting effects of temperature, precipitation, cloudiness and soil texture on tree species growth and competition. *Environmental modeling & software*. 2017. Vol. 97. 171-183.
9. Воронин П.Ю., Федосеева Г.П. Устьичный контроль фотосинтеза у отделенных листьев древесных и травянистых растений // *Физиология растений*. 2012. Т. 59. N2. С. 309-315.
10. Voronin P.Y., Rakhmankulova Z.F., Shuyskaya E.V., Maevskaya S.N., Nikolaeva M.K., Myasoedov N.A., Balnokin Y.V., Kuznetsov V.V., Maksimov A.P., Maximov T.C., Rymar V.P., Valdayskih V.V. New method for quantitative determination of water potential of mesophyll cells' apoplast in substomatal cavity of the leaf. *Russian journal of plant physiology*. 2017. N3 (64). 452-456.
11. Graamans L., Dobbeltstein A., Meinen E. Plant factories; crop transpiration and energy balance. *Agricultural Systems*. 2017. Vol. 53. 138-147.
12. Стребков Д.С., Юфев Л.Ю., Александров Д.В., Соколов А.В. Повышение эффективности систем освещения и облучения // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2014. N1. С. 13-16.
13. Vasiliev A.N., Ospanov A.B., Budnikov D.K., Karmenov D.K., Salginbayev D.B., Vasilyev A.A. Controlling reaction of biological objects of agricultural production with the use of electrotechnology. *International Journal of Pharmacy & Technology*. 2016. Vol. 8. N4. 26855-26869.

14. Гришин А.П., Гришин А.А., Гришин В.А. Программное обеспечение регистратора параметров роста растения // *Агротехника и энергообеспечение*. 2019. N1(22). С. 72-78.

15. Slattery R.A., Ort D.R. Carbon assimilation in crops at high temperatures. *Plant cell and environment*. 2019. Vol. 42(10). 2750-2758.

16. Ma S., Osuna J.L., Verfaillie J. Photosynthetic responses to temperature across leaf-canopy-ecosystem scales: a 15-year study in a Californian oak-grass savanna. *Photosynthesis research*. 2017. Vol. 132(3). 277-291.

REFERENCES

1. Kovalev V.M. Teoriya urozhaya [Theory of harvest]. Moscow: 2003. 331 (In Russian).

2. Ghasemkhani H., Keyhani A., Aghbashlo M., Rafiee S., Mujumdar A.S. Improving exergetic performance parameters of a rotating-tray air dryer via a simple heat exchanger. *Applied Thermal Engineering*. 2016. N94. 13-23 (In English).

3. Silva C.S., Seider W.D., Lior N. Exergy efficiency of plant photosynthesis. *Chemical engineering science*. 2015. Vol. 130. 151-171 (In English).

4. Sventitskiy I.I. Printsipy energosberezheniya v APK. Estestvennonauchnaya metodologiya [The principles of energy conservation in the agro-industrial complex. Natural science methodology]. Moscow: VIESH, 2001. 192 (In Russian).

5. Sventitskiy I.I. Energosberezhenie v APK i energeticheskaya ekstremal'nost' samoorganizatsii [Energy saving in the agro-industrial complex and energy extremity of self-organization]. Moscow: VIESH. 2007. 468 (In Russian).

6. Sventitskiy I.I. Estestvennonauchnaya osnova vseidinstvaznaniy. Eksergeticheskaya teoriya urozhaya [The natural science basis for the unity of knowledge. Exergetic harvest theory]. Moscow: FGBNU VIESH. 2015. 316 (In Russian).

7. Ouyang Z., Tian J., Yan X., Shen H. Effects of different concentrations of dissolved oxygen or temperatures on the growth, photosynthesis, yield and quality of lettuce. *Agricultural water management*. 2020. Vol. 228. N105826 (In English).

8. Gustafson E.J., Miranda B.R., De Bruijn A.M.G. Do rising temperatures always increase forest productivity? Interacting effects of temperature, precipitation, cloudiness and soil texture on tree species growth and competition. *Environmental modeling & software*. 2017. Vol. 97. 171-183 (In English).

9. Voronin P.Yu., Fedoseeva G.P. Ust'ichnyy kontrol' fotosinteza u otdelennykh list'ev drevesnykh i travyanistykh rasteniy [Stomatal control of photosynthesis in detached leaves of woody

and herbaceous plants]. *Fiziologiya rasteniy*. 2012. 59(2). 309-315 (In Russian).

10. Voronin P.Y., Rakhmankulova Z.F., Shuyskaya E.V., Maevskaya S.N., Nikolaeva M.K., Myasoedov N.A., Balnokin Y.V., Kuznetsov V.V., Maksimov A.P., Maximov T.C., Rymar V.P., Valdayskiy V.V. New method for quantitative determination of water potential of mesophyll cells' apoplast in substomatal cavity of the leaf. *Russian journal of plant physiology*. 2017. N3 (64). 452-456 (In English).

11. Graamans L., Dobbela E., Meinen E. Plant factories; crop transpiration and energy balance. *Agricultural Systems*. 2017. Vol. 53. 138-147 (In English).

12. Strebkov D.S., Yuferev L.Yu., Alexandrov D.V., Sokolov A.V. Povyshenie effektivnosti sistem osveshcheniya i oblucheniya [Improving the efficiency of lighting and irradiation systems]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2014. 1. 13-16 (In Russian).

13. Vasiliev A.N., Ospanov A.B., Budnikov D.K., Karmenov D.K., Salginbayev D.B., Vasilyev A.A. Controlling reaction of biological objects of agricultural production with the use of electrotechnology. *International Journal of Pharmacy & Technology*. 2016. Vol. 8. N4. 26855-26869 (In English).

14. Grishin A.P., Grishin A.A., Grishin V.A. Programmnnoe obespechenie registratora parametrov rosta rasteniya [Software for the registrar of plant growth parameters]. *Agrotekhnika i energoobespechenie*. 2019. 1(22). 72-78 (In Russian).

15. Slattery R.A., Ort D.R. Carbon assimilation in crops at high temperatures. *Plant cell and environment*. 2019. Vol. 42(10). 2750-2758 (In English).

16. Ma S., Osuna J.L., Verfaillie J. Photosynthetic responses to temperature across leaf-canopy-ecosystem scales: a 15-year study in a Californian oak-grass savanna. *Photosynthesis research*. 2017. Vol. 132(3). 277-291 (In English).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 16.03.2020
The paper was submitted
to the Editorial Office on 16.03.2020

Статья принята к публикации 09.03.2021
The paper was accepted
for publication on 09.03.2021

Унифицированная модель расчетов производительности технических средств при реализации транспортных и транспортно-технологических операций

Олеся Сергеевна Воротникова¹,
аспирант, e-mail: vorotnikova003@mail.ru;
Николай Александрович Майстренко¹,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail: nmaustr@mail.ru;

Александр Григорьевич Левшин²,
доктор технических наук,
профессор,
e-mail: alev200151@rambler.ru

¹Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация;

²Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Производительность – один из важных эксплуатационных показателей транспортных и транспортно-технологических средств. Подтвердили необходимость унифицировать расчеты этого показателя на фоне обширной номенклатуры сельскохозяйственных грузов и большого количества работ по их перемещению. (*Цель исследования*) Разработать универсальные взаимосвязанные этапы определения эксплуатационной производительности транспортных и транспортно-технологических средств при реализации механизированных работ в растениеводстве. (*Материалы и методы*) Определили значения эксплуатационной производительности посредством анализа нормообразующих факторов и статистической обработки. Использовали системный подход к определению отдельных элементов цикла транспортировки грузов. Изучили каждый из методических подходов и применяемые математические аппараты для определения производительности технических средств различных типов. (*Результаты и обсуждение*) После поэтапного моделирования реализации транспортных и транспортно-технологических процессов получили унифицированную формулу целевой функции (критерия оптимальности). В результате реализации более удобного алгоритма расчета и преобразования математического аппарата вычислили значения норм выработки для транспортных средств при транспортировке минеральных удобрений к месту их внесения. (*Выводы*) Провели детальное математическое описание этапов реализации транспортного и транспортно-технологического процесса. Определили функциональные зависимости между эксплуатационными параметрами и производственными и агроландшафтными условиями. Разработали универсальный алгоритм, для расчета значения эксплуатационной производительности транспортных и транспортно-технологических средств. Определили значения коэффициента, позволяющего унифицировать и сопоставить алгоритм вычисления норм выработки на транспортные и транспортно-технологические работы. Выявили, что с увеличением длины транспортировки от 3 до 54 километров этот коэффициент повышается 3,8 раза. Данное варьирование объяснили ростом чисто транспортной фазы выполнения процесса. **Ключевые слова:** транспортно-технологический процесс, единичный цикл работ, производительность сельхозтехники, норма выработки, унификация расчета эксплуатационной производительности, математическая модель, алгоритм.

Для цитирования: Воротникова О.С., Майстренко Н.А., Левшин А.Г. Унифицированная модель расчетов производительности технических средств при реализации транспортных и транспортно-технологических операций // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. №2. С. 75-80. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-75-80.

Unified Model for Calculating Technical Facilities Productivity for Transportation and Transportation-Technological Operations

Olesya S. Vorotnikova¹,
graduate student, e-mail: vorotnikova003@mail.ru;
Nikolay A. Maystrenko¹,
Ph.D.(Eng.), associate professor,
e-mail: nmaustr@mail.ru;

Aleksandr G. Levshin²,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: alev200151@rambler.ru

¹Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation;

²Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. Productivity is one of the important performance indicators of transport and transport-technological vehicles. The authors confirmed the necessity to unify this indicator calculations for an extensive range of agricultural goods and extensive works on their movement. (*Research purpose*) To develop universal interconnected stages of detecting the operational productivity of transport and transport-technological vehicles when performing mechanized work in crop production. (*Materials and methods*) The values of operational performance were determined based on the analysis of norm-forming factors and statistical processing. A systematic approach was used to identifying individual elements of the cargo transportation cycle. The authors studied each of the methodological approaches and the mathematical tools used to calculate the performance indicators of various technical devices. (*Results and discussion*) After a step-by-step modeling of transport and transport-technological processes, a unified formula of the target function (optimality criterion) was obtained. Having implemented a more convenient calculation algorithm and having transformed the mathematical apparatus, the authors obtained the vehicle production rates for the transportation of mineral fertilizers to the place of their application. (*Conclusions*) The authors implemented a detailed mathematical description of the transport and transport-technological process stages. They identified the functional relationships between operational parameters and production and agrolandscape conditions. A universal algorithm was developed making it possible to determine the values of the operational performance for transport and transport-technological vehicles. The authors determined the values of the coefficient enabling the unification and comparison of the algorithm for identifying the production rates for transport and transport-technological work. It was found out that with an increase in the length of transportation from 3 to 54 kilometers, this coefficient increases 3.8 times. This variation was explained by an increase in the purely transport phase of the process.

Keywords: transport and technological process, unit cycle of work, agricultural machinery productivity, production rate, unification of operational productivity calculation, mathematical model, algorithm.

For citation: Vorotnikova O.S., Maystrenko N.A., Levshin A.G. Unifitsirovannaya model' raschetov proizvoditel'nosti tekhnicheskikh sredstv pri realizatsii transportnykh i transportno-tekhnologicheskikh operatsiy [Unified model for calculating technical facilities productivity for transportation and transportation-technological operations]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N2. 75-80 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-2-75-80.

В сельскохозяйственном производстве при перевозке грузов принято выделять транспортные и транспортно-технологические процессы с соответствующими методами нормирования работ. Особенность процессов заключается в последовательном выполнении цикловых операций, обеспечивающих перевозку технологического материала к пункту назначения – напрямую или с предварительным сбором (последующим распределением) его на поле [1].

Реализация технологического процесса возделывания сельскохозяйственных культур требует использование современных, перспективных технических средств механизации отдельных этапов производственного цикла [2].

На сегодняшний день наблюдаются модернизация сельскохозяйственных машин, а также формирование концепций к новым видам техники для агропромышленного комплекса страны, и, как следствие, конструирование с последующими элементами выпуска в производство [3-5].

Наряду с этим ведутся исследования в области изменения источников энергии, силовых установок, например по созданию трактора с электродвигателем [6].

Для эксплуатации технических средств, при реализации механизированных работ, связанных с производством продукции растениеводства, отвечающей критериям оптимальности, требуется математическое моделирование производственных процессов с учетом системного подхода. Для этой цели необходи-

мы точные численные значения эксплуатационных параметров транспортных и транспортно-технологических агрегатов, для их определения и проводят эксплуатационно-технологическую оценку, что несет дополнительные временные и материальные затраты.

Цель исследования – разработать универсальные взаимосвязанные этапы определения эксплуатационной производительности транспортных (ТС) и транспортно-технологических средств (ТТС) при реализации механизированных работ в растениеводстве.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Использовали системный подход к методике оптимизации [7-9]. В соответствии с принципом унификации расчетов путем исключения переводных коэффициентов разных размерностей выражения для определения производительности энергетических средств уместно представить в виде:

$$W_{ТС} = Q \cdot V_{Г} \cdot \tau / L_{Г};$$

$$W_{ТТС} = Q \cdot V_{Г} \cdot \tau \cdot \mu / L_{Г},$$

где $W_{ТС}$ – производительность транспортного средства, т/ч;

$W_{ТТС}$ – производительность транспортно-технологического средства, т/ч;

Q – грузопместимость, т;

$V_{Г}$ – скорость движения по дороге с грузом, км/ч;

τ – коэффициент использования рабочего времени смены;

L_{Γ} – расстояние транспортировки груза или технологического материала, км;

μ – коэффициент, позволяющий скорректировать «чистую транспортную» производительность с учетом дополнительной фазы работы – «чистой работы на поле»:

$$\mu = \left(1 + \frac{\xi_v \cdot \omega}{L_{\Gamma} \cdot U} \right)^{-1},$$

где ξ_v – отношение скоростей движения с грузом и без груза;

ω – обобщающий технологический показатель, кг/м;

U – доза внесения удобрений, кг/м².

Взаимосвязь производительности транспортно-технологического процесса с чисто транспортным, выраженная через корректирующий коэффициент, выглядит следующим образом:

$$W_{\text{ТТС}} = W_{\text{ТС}} \cdot \mu.$$

При отсутствии полевой фазы в работе транспортно-технологического средства $\mu = 1$. Следовательно, технологическое средство выполняет функционал только транспортного средства, что дает основу для определения унифицированной (для данных видов энергетических средств) формулы:

$$W = Q \cdot V_{\Gamma} \cdot \tau \cdot \mu / L_{\Gamma}. \quad (1)$$

В ходе изучения оптимизации выполнения механизированных работ в качестве критерия обычно выбирают обобщенный параметр – мощность двигателя энергетического средства [7-9]. При этом определяют оптимальные значения этого показателя, которые соответствуют конкретным сочетаниям производственных и агроландшафтных условий. Однако транспортный и транспортно-технологический процесс всегда обусловлен сочетанием величин Q и V_{Γ} , от которых зависит энергетическая характеристика транспорта, а именно мощность силовой установки. Априори эти величины влияют на этапы проектирования транспортных средств. В то же время совокупное сочетание производственных и агроландшафтных условий имеет широкий спектр, поэтому оптимальных ТС и ТТС в различных условиях не существует [10, 11].

Для определения оптимальной мощности и параметров мобильного энергетического средства необходимо установить характер влияния величин Q и V_{Γ} . Причем невозможно определить влияние каждой из них, так как они взаимосвязаны как элементы мощностного баланса. Мы предлагаем выразить их произведение из баланса мощности, с учетом движения автомобиля или трактора по дороге в виде:

$$Q \cdot V_{\Gamma} = \frac{N \cdot \xi_N}{g \cdot f \cdot (1 + \delta_e + \delta_n + \delta_q) / (\eta_m \cdot \eta_{\sigma})}, \quad (2)$$

где N – мощность двигателя энергетического средства, кВт;

ξ_N – коэффициент использования мощности;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

f – коэффициент сопротивления перемещению (в том числе на подъем);

$\delta_e, \delta_n, \delta_q$ – отношение массы, соответственно, энергомашины M_e , прицепа M_n и груза в дополнительном прицепе Q_n к номинальной грузоподъемности Q основной емкости (кузова);

η_m и η_{σ} – коэффициенты, учитывающие потери мощности в трансмиссии и на буксование колес.

В уравнение (2) мы внесли изменения. Так как ТТС не агрегируют с дополнительными прицепами, то при расчете приняли:

$$\delta_n = 0; \delta_q = 0.$$

Это относится и к ТС с установленным на шасси автомобиля кузовом или к тракторному полуприцепу при реализации внутри- и межхозяйственных грузоперевозок, когда тракторный и автомобильный транспорт формируют с несколькими прицепами [12].

Знаменатель в формуле (2) характеризует удельные, на единицу грузоперемещений, энергозатраты. Для однотипных средств разной мощности получим:

$$P_N = g \cdot f \cdot (1 + \delta_e + \delta_n + \delta_q) / \eta_m \cdot \eta_{\sigma} \cdot \xi_N, \quad (3)$$

где P_N – удельные на единицу грузоперемещений энергозатраты, Н/кг.

С учетом (2) и (3) формула (1) преобразована в виде:

$$W = \frac{N \cdot \mu}{P_N \cdot L_{\Gamma}} \cdot \tau.$$

Это выражение позволяет определить производительность как транспортных, так и транспортно-технологических агрегатов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Проиллюстрируем расчетные этапы определения численных показателей эксплуатационной производительности по унифицированному алгоритму для ТС и ТТС при реализации механизированных работ, связанных с транспортировкой сельскохозяйственных грузов, технологического материала, а также на собирательных и распределительных процессах (рисунк).

Для реализации предложенного алгоритма расчета эксплуатационной производительности необходимы исходные данные, характеризующие производственный процесс. С этой целью мы обратились к примеру товаропроизводителей сельскохозяйственной продукции агрозоны 1.1 Центрального федерального округа [13]. Изучили используемые средства механизации внесения минеральных удобрений при $L_{\Gamma} = 9$ км и $U = 0,06$ кг/м².

Указанные аспекты математической модели позволяют определить формулу эксплуатационной производительности в функции характеристик внешних условий выполнения процесса и мощности технического средства. С учетом поправочного коэффициента

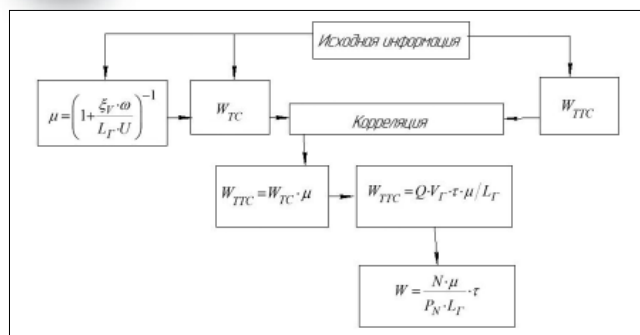


Рис. Унифицированный алгоритм определения производительностей

Fig. The unified algorithm for measuring performance indicators

$K_{Об}$ на местные условия получим:

$$W = \frac{N \cdot \mu}{P_N \cdot L_T} (h - dN) \cdot K_{Об},$$

где $K_{Об}$ – поправочный коэффициент;

h – коэффициент, характеризующий потери времени смены, зависящий от мощности двигателя;

d – коэффициент, характеризующий потери времени смены, не зависящий от мощности двигателя.

Следует отметить перспективность данной методики. Используя формулу производительности в качестве целевой функции (критерия $W \rightarrow \max$), методом дифференцирования можно вывести выражение для определения оптимальной мощности N_w .

В результате реализации более удобного алгоритма расчета и преобразования математического аппарата получили значения норм выработки для транспортных средств при транспортировке минеральных удобрений к месту их внесения.

Автомобиль Урал-432065 с самосвальной установкой. Коэффициент использования времени смены:

$$\tau = h - dN;$$

$$\tau = 0,63 - 0,0028 \cdot 140 = 0,24.$$

С учетом значения τ рассчитываем эксплуатационную производительность:

$$W = (3,6 \cdot 140 \cdot 1 \cdot 0,24 \cdot 0,9) / (1,21 \cdot 9) = 9,1 \text{ т/ч.}$$

Трактор МТЗ-82.1 с прицепом 2ПТС-6. Коэффициент использования времени смены:

$$\tau = 0,54 - 0,0029 \cdot 57 = 0,37.$$

Эксплуатационная производительность равна:

$$W = (3,6 \cdot 57 \cdot 1 \cdot 0,37 \cdot 0,9) / (1,21 \cdot 9) = 6,3 \text{ т/ч.}$$

Определим эксплуатационную производительность для транспортно-технологических средств при внесении минеральных удобрений по прямоточной

технологии.

Автомобиль Урал-432065 с разбрасывателем Amazone. Коэффициент использования времени составляет:

$$\tau = 0,71 - 0,0014 \cdot 140 = 0,52.$$

С учетом полученного значения определим эксплуатационную производительность:

$$W = (3,6 \cdot 140 \cdot 0,256 \cdot 0,52 \cdot 0,9) / (1,27 \cdot 9) = 5,5 \text{ т/ч.}$$

Трактор МТЗ-82.1 с разбрасывателем РУМ-6. Вычислим коэффициент использования времени смены:

$$\tau = 0,62 - 0,0022 \cdot 57 = 0,49,$$

а затем эксплуатационную производительность:

$$W = (3,6 \cdot 57 \cdot 0,418 \cdot 0,49 \cdot 0,9) / (1,33 \cdot 9) = 3,9 \text{ т/ч.}$$

Для новых или проектируемых средств, при отсутствии их эксплуатационно-технологической оценки, норму выработки можно с достаточной достоверностью определять методами экстра- и интерполяции или аппроксимации по их расчетной производительности [14].

Достаточную достоверность подтверждает сопоставление расчетных значений эксплуатационных показателей со справочными данными (нормативными материалами машинно-технологических станций, протоколами испытаний машиноиспытательных станций). Например, согласно нормативам, при выполнении тракторно-транспортных работ, а именно доставки минеральных удобрений (I класс грузов) к хранилищам, эксплуатационная производительность составляет 5,84 т/ч, а полученное теоретическое значение равно 6,3 т/ч. Расхождение 4,2% приемлемо для инженерных расчетов [15-18].

Выводы. Провели детальное математическое описание этапов реализации транспортного и транспортно-технологического процесса. Определили функциональные зависимости между эксплуатационными параметрами и производственными и агроландшафтными условиями. Разработали универсальный алгоритм, для расчета значения эксплуатационной производительности транспортных и транспортно-технологических средств. Определили значения коэффициента, позволяющего унифицировать и сопоставить алгоритм вычисления норм выработки на транспортные и транспортно-технологические работы. С увеличением длины транспортировки от 3 км до 54 км этот коэффициент повышается 3,8 раза. Данное варьирование объясняется ростом чисто транспортной фазы выполнения процесса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Майстренко Н.А. Уваров В.П., Левшин А.Г., Хорт Д.О., Воротникова О.С. Унификация расчетов производительности транспортных и транспортно-технологических средств // *Инженерные технологии и системы*. 2020. №1. С. 637-658.
2. Шкель А.С., Козловская М.А., Дзюцендзэ Т.Д. Эксплуатационные требования к сменной технологической надстройке для транспортировки и внутрипочвенного внесения жидких органических удобрений СТА-5ЖО на базе



шасси грузового автомобиля Урал-432065 // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2016. №6. С. 12-16.

3. Шкель А.С., Козловская М.А., Дзотсенидзе Т.Д. Исследование технологии внесения жидких органических удобрений транспортно-технологическим агрегатом сельскохозяйственного назначения // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2016. №7. С. 47-51.

4. Шкель А.С., Козловская М.А., Дзотсенидзе Т.Д. Технология внесения твердых минеральных удобрений транспортно-технологическим агрегатом СТА-5ТМ в составе специализированного автомобильного шасси Урал-432065 // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2016. №9. С. 44-48.

5. Прядкин В.И., Шапиро В.Я., Годжаев З.А., Гончаренко С.В. Транспортно-технологические средства на шинах сверхнизкого давления: Монография. Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова. 2019. 492 с.

6. Бижаев А.В. Исследование параметров трактора с электроприводным силовым агрегатом // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №4. С. 33-42.

7. Майстренко Н.А., Уваров В.П. Потребительские ориентиры эффективного использования перспективных транспортно-технологических средств // *Вестник ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина»*. 2016. №1. С. 44-50.

8. Левшин А.Г., Уваров В.П., Майстренко Н.А. Транспортно-технологический агрегат с использованием шасси грузового автомобиля Урал-432065 и модель оптимизации его параметров // *Технология колесных и гусеничных машин*. 2014. №1. С. 25-34.

9. Уваров В.П., Левшин А.Г., Майстренко Н.А. Оптимальное соотношение основных механизированных работ при прямом внесении удобрений // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2016. Т. 10. №4. С. 38 с.

10. Загарин Д.А., Козловская М.А., Дзотсенидзе Т.Д., Шкель А.С. Предложения по созданию многоцелевых гру-

зовых автомобилей нового поколения // *Журнал автомобильных инженеров*. 2016. №2(97). С. 18-25.

11. Драй А.А., Майстренко Н.А., Балабанов В.И. Результаты оптимизации уборочно-транспортного комплекса по уборке хлопка в условиях Сирийской Арабской Республики // *Вестник ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина»*. 2018. №1(83). С. 48-51.

12. Дзотсенидзе Т.Д., Галкин С.Н., Левшин А.Г. и др. Специализированный автомобильный транспорт сельскохозяйственного назначения: Монография. М.: Ника, Металлургиздат. 2013. 368 с.

13. Лачуга Ю.Ф., Горбачев И.В., Ежевский А.А. и др. Система машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства на период до 2020 года. Т. I. Растениеводство. М.: ВИМ. 2012. 457 с.

14. Левшин А.Г., Ерохин М.Н. Научно-методические основы формирования нормированной шкалы твердости почвы // *Вестник ФГОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина»*. 2017. №6(82). С. 28-34.

15. Yeung D.W.K., Petrosyan L.A. Subgame consistent cooperative solutions in stochastic differential games. *Journal of Optimization Theory and Applications*. 2004. Vol. 120. Iss. 3. 651-666.

16. Khodakarami M., Mitchell K.N., Wang X.B. Modeling Maintenance Project Selection on a Multimodal Transportation Network. *Journal of the Transportation Research Record Board*. 2014. Vol. 2409. Issue 1. 1-8.

17. Malladi K.T., Sowlati T. Optimization of operational level transportation planning in forestry: a review. *International Journal of Forest Engineering*. 2017. Vol. 28. Iss. 3. 198-210.

18. MacKinnon R.D., Barber G.M. Optimization Models of Transportation Network Improvement. *Progress in Human Geography*. 1977. Vol. 1. Iss. 3. 387-412.

REFERENCES

1. Maystrenko N.A. Uvarov V.P., Levshin A.G., Khort D.O., Vorotnikova O.S. Unifikatsiya raschetov proizvoditel'nosti transportnykh i transportno-tekhnologicheskikh sredstv [Unification of calculating the performance of vehicles and transport-technological facilities]. *Inzhenernye tekhnologii i sistemy*. 2020. №1. 637-658 (In Russian).

2. Shkel' A.S., Kozlovskaya M.A., Dzotsenidze T.D. Eksploatatsionnye trebovaniya k smennoy tekhnologicheskoy nadstroyke dlya transportirovki i vnutripochvennogo vneseniya zhidkikh organicheskikh udobreniy STA-5ZHO na baze shassi грузового автомобиля Урал-432065 [Operational requirements to STA-5ZHO replaceable technological superstructure for transportation and subsoil application of liquid organic fertilizers based on Ural-432065 vehicle chassis]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2016. №6. 12-16 (In Russian).

3. Shkel' A.S., Kozlovskaya M.A., Dzotsenidze T.D. Issledovanie tekhnologii vneseniya zhidkikh organicheskikh udobreniy

transportno-tekhnologicheskim agregatom sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya [Study of technology of liquid organic fertilizers application of by a transport-technological unit for agricultural purposes]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2016. №7. 47-51 (In Russian).

4. Shkel' A.S., Kozlovskaya M.A., Dzotsenidze T.D. Tekhnologiya vneseniya tverdykh mineral'nykh udobreniy transportno-tekhnologicheskim agregatom STA-5ТМ v sostave spetsializirovannogo avtomobil'nogo shassi Ural-432065 [Technology of solid mineral fertilizers application by means of STA-5ТМ transport-technological unit as part of specialized Ural-432065 vehicle chassis]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2016. №9. 44-48 (In Russian).

5. Pryadkin V.I., Shapiro V.Ya., Godzhaev Z.A., Goncharenko S.V. Transportno-tekhnologicheskie sredstva na shinakh sverkhznizkogo davleniya: Monografiya [Transport and technological vehicles on ultra-low pressure tires: Monograph]. Vo-

ronezh: Voronezhskiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskii universitet im. G.F. Morozova. 2019. 492 (In Russian).

6. Bizhaev A.V. Issledovanie parametrov traktora s elektroprivodnym silovym agregatom [Research of tractor power unit with electric drive parameters]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N4. 33-42 (In Russian).

7. Maystrenko N.A., Uvarov V.P. Potrebitel'skie orientiry effektivnogo ispol'zovaniya perspektivnykh transportno-tekhnologicheskikh sredstv [Consumer targets of efficient use of advanced transport-and-technological vehicles]. *Vestnik FGOU VPO «Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V.P. Goryachkina»*. 2016. N1. 44-50 (In Russian).

8. Levshin A.G., Uvarov V.P., Maystrenko N.A. Transportno-tekhnologicheskii agregat s ispol'zovaniem shassi gruzovogo avtomobilya Ural-432065 i model' optimizatsii ego parametrov [Transportation technological device with an application of chassis of truck ural-432065, and a model of its parameter optimization]. *Tekhnologiya kolesnykh i gusenichnykh mashin*. 2014. N1. 25-34 (In Russian).

9. Uvarov V.P., Levshin A.G., Maystrenko N.A. Optimal'noe sootnoshenie osnovnykh mekhanizirovannykh rabot pri pryamotokhnom vnesenii udobreniy [Optimum ratio of main mechanized operations for direct-flow fertilizers introduction]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016. Vol. 10. N4. 38 (In Russian).

10. Zagarin D.A., Kozlovskaya M.A., Dzotsenidze T.D., Shkel' A.S. Predlozheniya po sozdaniyu mnogotselyvykh gruzovykh avtomobiley novogo pokoleniya [Proposals for development of new generation multipurpose vehicles]. *Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov*. 2016. N2(97). 18-25 (In Russian).

11. Dray A.A., Maystrenko N.A., Balabanov V.I. Rezul'taty optimizatsii uborochno-transportnogo kompleksa po uborke khlopka v usloviyakh Siriyskoy Arabskoy Respubliki [Optimization results for a cotton harvesting and transport system designed for us in the Syrian Arab Republic]. *Vestnik FGOU VPO*

«Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V.P. Goryachkina». 2018. N1(83). 48-51 (In Russian).

12. Dzotsenidze T.D., Galkin S.N., Levshin A.G. et al. Specializirovanny avtomobil'nyy transport sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya [Specialized agricultural vehicles]. Monografiya. Moscow: Nika. Metallurgizdat. 2013. 368 (In Russian).

13. Lachuga Yu.F., Gorbachev I.V., Ezhevskiy A.A. et al. Sistema mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii i avtomatizatsii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na period do 2020 goda [System of machines and technologies for complex mechanization and automation of agricultural production for the period until 2020]. Vol. I. Rasteniyevodstvo. Moscow: VIM. 2012. 457 (In Russian).

14. Levshin A.G., Erokhin M.N. Nauchno-metodicheskie osnovy formirovaniya normirovannoy shkaly tverdsti pochvy [Scientific and methodical grounds to make normalized scale of soil hardness]. *Vestnik FGOU VPO «Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V.P. Goryachkina»*. 2017. N6(82). 28-34 (In Russian).

15. Yeung D.W.K., Petrosyan L.A. Subgame consistent cooperative solutions in stochastic differential games. *Journal of Optimization Theory and Applications*. 2004. Vol. 120. Iss. 3. 651-666 (In English).

16. Khodakarami M., Mitchell K.N., Wang X.B. Modeling Maintenance Project Selection on a Multimodal Transportation Network. *Journal of the Transportation Research Record Board*. 2014. Vol. 2409. Iss. 1. 1-8 (In English).

17. Malladi K.T., Sowlati T. Optimization of operational level transportation planning in forestry: a review. *International Journal of Forest Engineering*. 2017. Vol. 28. Iss. 3. 198-210 (In English).

18. MacKinnon R.D., Barber G.M. Optimization Models of Transportation Network Improvement. *Progress in Human Geography*. 1977. Vol. 1. Iss. 3. 387-412 (In English).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 09.12.2020
The paper was submitted
to the Editorial Office on 09.12.2020

Статья принята к публикации 09.03.2021
The paper was accepted
for publication on 09.03.2021

ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Журнал «Сельскохозяйственные машины и технологии» входит в Перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ для публикации трудов соискателей ученых степеней кандидата и доктора наук.

Журнал включен в систему Российского индекса цитирования и в Международную информационную систему по сельскому хозяйству *AGRIS*. Электронные версии журнала размещаются на сайте Российской универсальной научной электронной библиотеки.

Статьи, направляемые в журнал для публикации, должны соответствовать основной тематике журнала.

Статьи, поступившие в редакцию, проходят двойное слепое рецензирование. Отрицательная рецензия является основанием для отказа в публикации.

Редакция принимает рукописи и электронные версии статей, набранные в Word шрифтом 14 пт. через 1,5 интервала, объемом 15-20 страниц.

Приведенные в статье формулы должны иметь пояснения и расшифровку всех входящих в них величин с указанием единиц измерения в СИ. Графические материалы должны быть приложены в виде отдельных файлов: фотографии – *jpg* или *tif* с разрешением *300 dpi*, графики, диаграммы – в *eps* или *ai*. Все графические материалы, рисунки и фотографии должны быть пронумерованы, подписаны и иметь ссылку в тексте.

Простые внутристрочные и однострочные формулы должны быть набраны символами в редакторе формул *Microsoft Word* без использования специальных редакторов. Не допускается набор: часть формулы символами, а часть в редакторе формул. Если формулы заимствованы из других источников, то не следует приводить в них подробных выводов: авторы формул это уже сделали, повторять их не следует. Ссылки на обозначения формул обязательны. Статья должна содержать не более 10 формул, 3-4 иллюстрации, 3-4 таблицы, размер таблиц не более 1/2 страницы.

В каждой статье должны быть указаны следующие данные:

- название статьи;
- фамилия, имя и отчество автора(ов) полностью;
- e-mail автора(ов), контактный телефон;
- место работы автора(ов) (аббревиатуры не допускаются), почтовый адрес;

- ученая степень, ученое звание автора(ов);
- реферат (объем 200-250 слов);
- ключевые слова;
- библиографический список.

Статью следует структурировать, обязательно указав следующие разделы:

- Введение (актуальность);
- Цель исследования;
- Материалы и методы;
- Результаты и обсуждение;
- Выводы.

Библиографический список (не менее 20 источников из них 3-4 иностранных, входящих в базу данных *Web of Science*, за последние 5 лет) следует оформлять по ГОСТ Р 7.05-2008.

Реферат

Реферат – это самостоятельный законченный материал. Вводная часть минимальна. Нужно коротко и емко отразить актуальность и цель исследований, условия и схемы экспериментов, привести полученные результаты (с обязательным аргументированием на основании цифрового материала), сформулировать выводы.

Объем реферата – 200-250 слов.

Нельзя использовать в реферате аббревиатуры и сложные элементы форматирования (например, верхние и нижние индексы).

На английский язык следует перевести:

- название статьи;
- фамилию, имя, отчество (полностью);
- ученая степень, ученое звание, место работы автора (ов);
- реферат и ключевые слова;
- библиографический список.

Машинный перевод недопустим!

Рукопись статьи должна быть подписана лично авторами. Автор несет юридическую и иную ответственность за содержание статьи.

Несоответствие статьи хотя бы одному из перечисленных условий может служить основанием для отказа в публикации.

Подписку на журнал
можно оформить в агентстве «Урал-Пресс»
на сайте: www.ural-press.ru,
а также в редакции журнала.

Индекс издания **35825**

КОНТАКТЫ:

Тел.: 8 (499) 174-88-11, 8 (499) 174-89-01
www.vimsmit.com e-mail: smit@vim.ru