

# Сельскохозяйственные МАШИНЫ и ТЕХНОЛОГИИ

## AGRICULTURAL MACHINERY AND TECHNOLOGIES

Том 12 N6 2018

Vol. 12 N6 2018

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

SCIENTIFIC-THEORETICAL JOURNAL

**АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ФРЕЗЕРНЫМ АГРЕГАТОМ**  
**AUTOMATED CONTROL OF A ROTARY CULTIVATOR**

**ТЕХНОЛОГИИ ПОДГОТОВКИ СЕЛЕКЦИОННОГО ЗЕРНА**  
**TECHNOLOGIES OF SELECTION GRAIN PREPARATION**

**КОМБИНИРОВАННЫЕ РЕЖИМЫ СВЧ-СУШКИ ЗЕРНА**  
**COMBINED MODES OF MICROWAVE GRAIN DRYING**









# Сельскохозяйственные МАШИНЫ и ТЕХНОЛОГИИ

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

## НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

Журнал включен  
в Российский индекс  
научного цитирования (РИНЦ)

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

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

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

Перевод – Алексей Алипичев

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

<http://www.vimsmit.com>  
e-mail: [smit@vim.ru](mailto:smit@vim.ru)

© ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 2018

Отпечатано в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ  
Формат 205 x 290 мм  
Подписано в печать 15.12.2018  
Тираж 500 экз.

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

### Андрей Юрьевич Измайлов

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

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

### Виктор Валентинович Альт

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

### Христо Иванов Белоев

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

### Михаил Никитиевич Ерохин

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

### Юрий Анатольевич Иванов

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

### Йошисукэ Кишида

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

### Иван Михайлович Куликов

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

### Юрий Федорович Лачуга

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

### Яков Петрович Лобачевский

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

### Антонин Махалек

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

### Тадеуш Павловски

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

### Владимир Дмитриевич Попов

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

### Жарылкасын Сарсембекович Садыков

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

### Дмитрий Семенович Стребков

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

### Юлия Сергеевна Ценц

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

### Вячеслав Иванович Черноиванов

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



SCIENTIFIC-THEORETICAL  
JOURNAL

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

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

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

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

#### EXECUTIVE EDITORS:

Bizhaev V.V.,  
Gorelova L.A.,  
Grishutkina S.V.  
Nurbagandova R.M.

Translation into English –  
Alekssei Alipichev

#### EDITORIAL OFFICE'S ADDRESS

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

<http://www.vimsmit.com>  
e-mail: [smit@vim.ru](mailto:smit@vim.ru)

Printed by FSAC VIM  
Russian Academy of Science

The format is 205 × 290 mm  
The issue was submitted 15.12.2018  
The circulation is 500 copies

## [SEL'SKOKHOZYAYSTVENNYE MASHINY I TEKHNologii]

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

#### EDITOR-IN-CHIEF

**Andrey Yu. Izmaylov**

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

#### EDITORIAL BOARD

**Viktor V. Al't**

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

**Khristo I. Beloev**

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

**Mikhail N. Erokhin**

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

**Yuriy A. Ivanov**

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

**Yoshisuke Kishida**

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

**Ivan M. Kulikov**

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

**Yuriy F. Lachuga**

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

**Yakov P. Lobachevskiy**

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

**Antonin Makhalek**

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

**Tadeusz Pavlovsky**

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

**Vladimir D. Popov**

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

**Zharylkasyn S. Sadykov**

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

**Dmitriy S. Strebkov**

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

**Yulia S. Tsench**

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

**Vyacheslav I. Chernouvanov**

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

**НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ****Утениязов П.А.**

Теоретическое исследование взаиморасположения рабочих органов комбинированного агрегата .....4

**Гасанов У.Р., Магеррамова С.А.**

Эффективность работы энергосберегающей мини-зерносушилки с комбинированной системой теплоснабжения .....9

**ТЕХНИКА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ****Зволинский В.Н., Мосяков М.А.**

Автоматизация управления работой садовой фрезы .....15

**ПРЕДПОСЕВНАЯ ОБРАБОТКА СЕМЯН****Крюков М.Л., Пышкин В.К., Чулков А.С., Власова С.В., Иванов М.В., Степанов К.А.**

Контейнерная поточно-транспортная технология заготовки селекционного зерна .....20

**Павлов С.А., Пехальский И.А., Кынев Н.Г.**

Исследования комбинированных режимов СВЧ-сушки зерна .....25

**ТЕХНИКА ДЛЯ ОВОЩЕВОДСТВА****Михеев В.В., Еремин П.А., Зернов В.Н., Петухов С.Н.**

Механизация в технологиях семеноводства корнеплодов. ....31

**ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ****Ракутько С.А.**

Концептуальные основы энергоэкологии светокультуры .....38

**Бижаев А.В., Соо С., Фомин В.М., Ибрагим А.С.Х., Девянин С.Н., Ходяков А.А.**

Использование арахисового масла в качестве присадки к дизельному топливу ..45

**ИНФОРМАЦИЯ****Перечень статей,****опубликованных в 2018 году. ....51****NEW MACHINERY AND TECHNOLOGIES****Uteniyazov P.A.**

Theoretical study of working tool configuration of a combined unit. ....4

**Gasnov U.R., Magerramova S.A.**

Performance efficiency of an energy-saving mini dryer with a combined heat supply system. ....9

**MACHINERY FOR SOIL CULTIVATION****Zvolinsky V.N., Mosyakov M.A.**

Automatic operation of a rotary garden cultivator .....15

**PRESOWING TREATMENT OF SEEDS****Kryukov M.L., Pyshkin V.K., Chulkov A.S., Vlasova S.V., Ivanov M.V., Stepanov K.A.**

Container flow-transport technology of selection grain production .....20

**Pavlov S.A., Pekhal'skiy I.A., Kynev N.G.**

Studies of the combined modes of microwave grain drying .....25

**MACHINERY FOR VEGETABLE GROWING****Mikheyev V.V., Yeremin P.A., Zernov V.N., Petukhov S.N.**

Mechanization of root crop seed production technologies. ....31

**PROBLEMS AND DECISIONS****Rakut'ko S.A.**

Conceptual framework of energy-and-ecology of indoor plant lighting. ....38

**Bizhayev A.V., Soo S., Fomin V.M., Ibragim A.S.H., Devyanin S.N., Khodyakov A.A.**

Using peanut oil as a fuel additive in tractor diesel engines. ....45

**INFORMATION****List of articles****published in 2018 .....51**

## Теоретическое исследование взаиморасположения рабочих органов комбинированного агрегата

Пулат Айтбаевич Утениязов, научный сотрудник,  
e-mail: paytbaev@list.ru

Научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства, п/о Гульбахор-1, Янгиюльский район, Ташкентская область, Республика Узбекистан

**Реферат.** Показали, что органические удобрения, в отличие от минеральных, способны давать прибавку урожая в течение нескольких лет, они не наносят вреда окружающей среде и не загрязняют продукцию бахчевых культур нитратами. Уточнили, что их внесение – один из эффективных методов сохранения гумуса и повышения плодородия почвы, а значит получения более полновесных урожаев бахчевых культур с высокими показателями качества. Разработали комбинированный агрегат для локального внесения органических удобрений под бахчевые культуры. (*Цель исследования*) Теоретически обосновать взаиморасположение рабочих органов комбинированного агрегата для локального внесения органических удобрений. (*Материалы и методы*) Провели теоретические исследования с использованием методов аналитической геометрии и теоретической механики. Описали схему работы нового агрегата. (*Результаты и обсуждение*) Получили зависимости для определения поперечных расстояний между бороздорезами, осуществляющими нарезку борозд для внесения органических удобрений и для полива, а также продольных расстояний от ведущих задних колес трактора до бороздорезов, осуществляющих нарезку борозд для заделки органических удобрений, от бороздорезов для их внесения до разбрасывателя удобрений и от разбрасывателя удобрений до бороздореза для нарезки поливной борозды. Рассчитали оптимальные значения этих параметров. (*Выводы*) Установили, что поперечное расстояние между рабочими органами, осуществляющими нарезку борозд для внесения органических удобрений, должно составлять 0,9-1,3 м, а между рабочими органами для нарезки поливной борозды и борозды для внесения органических удобрений – 0,45-0,65 м. Определили оптимальные значения продольного расстояния: от ведущих задних колес трактора до рабочих органов нарезки борозд для внесения удобрений – не менее 0,21 м; от носка рабочих органов до разбрасывателя удобрений – не менее 1,5 м; от центра разбрасывателя до носка рабочего органа для нарезки поливной борозды – не менее 0,74 м.

**Ключевые слова:** локальное внесение органических удобрений, комбинированный агрегат, расположение рабочих органов, нарезка борозд для внесения удобрений и полива.

■ **Для цитирования:** Утениязов П.А. Теоретическое исследование взаиморасположения рабочих органов комбинированного агрегата // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №6. С. 4-8. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-6-4-8

## Theoretical Study of Working Tool Placement in the Combined Unit

Pulat A. Uteniyazov,  
junior research engineer, e-mail: paytbaev@list.ru

Research Institute for Mechanization and Electrification of Agriculture (NIIMESH), Gulbakhor-1, Yangiyul district, Tashkent Region, Republic of Uzbekistan

**Abstract.** The author proves that organic fertilizers, unlike the mineral ones, are capable of increasing yields over several years; they do not harm the environment and do not pollute the melon crop fields with nitrates. It has been clarified that their introduction is one of the most effective methods of humus conservation and soil fertility enhancement, which means obtaining fuller yields of high-quality melons and gourds. The NIIMESH researchers have developed a combined unit for local application of organic fertilizers for melons and gourds. (*Research purpose*) Conducting theoretical studies on the substantiation of the configuration of the working tools of a combined unit for local application of organic fertilizers. (*Materials and methods*) The author has conducted theoretical studies using methods of analytical geometry and theoretical mechanics. (*Results and discussion*) Analytical dependences have been obtained to determine transverse distances between



furrow shapers used for applying organic fertilizers and making an irrigation groove, as well as longitudinal distances between the tractor's rear wheels and the furrow shapers applying organic fertilizers, between the furrow shapers and the fertilizer spreader, and between the fertilizer spreader and the furrow shaper making an irrigation furrow. (*Conclusions*) It has been determined that transverse distance between the working tools that make furrows for applying organic fertilizers should range between 0.9 and 1.3 metre, transverse distance between the working tools making an irrigation furrow and a furrow for the application of organic fertilizers is 0.45-0.65 metre. The optimal values of longitudinal distances have been found as well: between the tractor's rear wheels and the working tools making furrows for applying fertilizers – no less than 0.21 metre, between the tip of working tools and the fertilizer spreader – no less than 1.5 metre, and between the fertilizer spreader center and the tip of working tools making an irrigation furrow – at least 0.74 metre.

**Keywords:** local application of organic fertilizers, combined unit, configuration of working tools, furrow shaping for fertilizer application and irrigation.

**For citation:** Uteniyazov P.A. Teoreticheskoye issledovaniye vzaimoraspologheniya rabochikh organov kombinirovannogo agregata [Theoretical study of working tool placement in the combined unit]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. N12(6). 4-8. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-6-4-8 (In Russian).

The most effective way of increasing the output of melon cultivation is to increase the yield of melons and gourds by improving the agricultural technology of soil cultivating, developing new varieties, as well as improving soil fertility. Organic fertilizers, as contrasted to mineral fertilizers, are capable of giving a yield increase over several years; they do not harm the environment and do not pollute melon fields with nitrates [1, 2].

The application of organic fertilizers in a semi-furry and rotted form is one of the most effective methods of preserving humus and increasing soil fertility, and, therefore, obtaining more comprehensive yields of high-quality melons and gourds.

Local application of organic fertilizers prevents the disadvantages typical for the spreading method.

Basing on the above-mentioned facts, our institute has developed a combined unit for local application of organic fertilizers for melons and gourds [3-5].

**THE RESEARCH PURPOSE** is to theoretically determine the configuration of working tools of a combined unit for local application of organic fertilizers.

**MATERIALS AND METHODS.** The unit for local application of organic fertilizers includes frame 1, hopper 2 mounted on it with a seed sowing unit in the form of paddle drums, support-driving wheels 3, working tools 4 that make furrows for applying fertilizers, working tool 5 making irrigation furrows and fertilizer spreaders 6 (Fig. 1).

In the operating process, working tools 4 open up two furrows, into which fertilizers flow from hopper 2 through spreaders 6. Working tool 5 makes an irrigation furrow between the furrows with introduced fertilizers. At the same time, the soil moved asides, encloses the fertilizers and forms ridges.

**RESULTS AND DISCUSSION.** The configuration of the working tools of a combined unit is determined by the

following parameters (Fig. 1):

$B_1$  – transverse distance between the working tools (furrow shapers) making furrows for applying organic fertilizers, m;

$B_2$  – transverse distance between the working tools for making an irrigation furrow and furrows for applying organic fertilizers, m;

$l_1$  – longitudinal distance between the tractor's driving rear wheels and the working tools making furrows for applying organic fertilizers, m;

$l_2$  – longitudinal distance between the working tools making furrows for applying organic fertilizers and the fertilizer spreader, m;

$l_3$  – longitudinal distance between the fertilizer spreader and the working tools for making an irrigation furrow, m.

Lateral distance between the working tools making furrows for applying fertilizers can be determined with the following formula (Fig. 2):

$$B_1 = b + 2b_y, \quad (1)$$

where  $b$  is the distance between seed rows;

$b_y$  is the distance between a seed row and the furrow for applying fertilizers.

According to the schemes (Fig. 1 and 2), transverse distance between the working tools making furrows for applying organic fertilizer and irrigation:

$$B_2 = B_1/2 = 0,5b + b_y. \quad (2)$$

Longitudinal distance between the tractor's rear drive wheels and the working tools making furrows for applying fertilizers should eliminate any possibility of soil clogging between them, because otherwise the technological process of the unit can be disturbed and energy costs for furrow making may increase.

To fulfill this condition, the propagation zone of soil deformation under the influence of the working

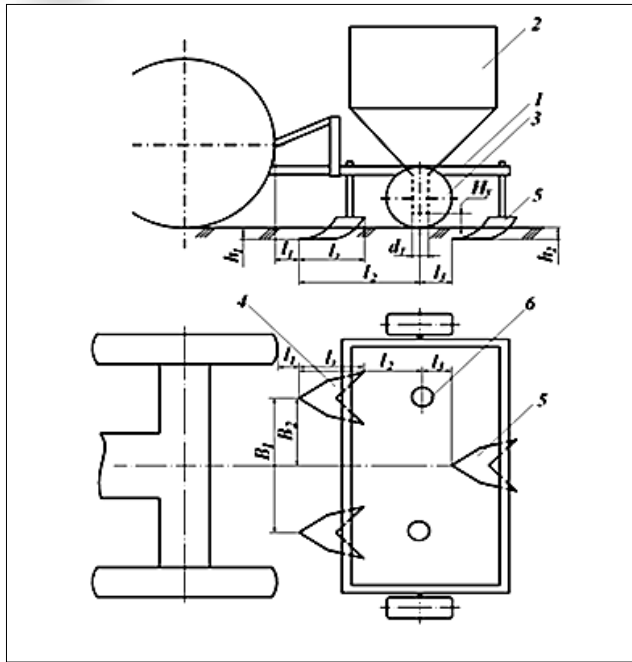


Fig. 1. Configuration parameters of the working tools of a combined unit

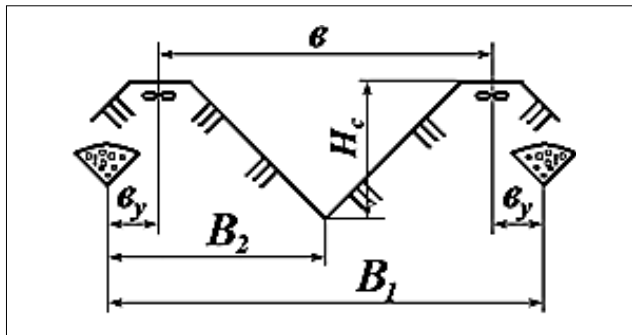


Fig. 2. Determination of transverse distance between working tools making furrows for applying fertilizers

tools should not reach the tractor's driving rear wheel, in other words:

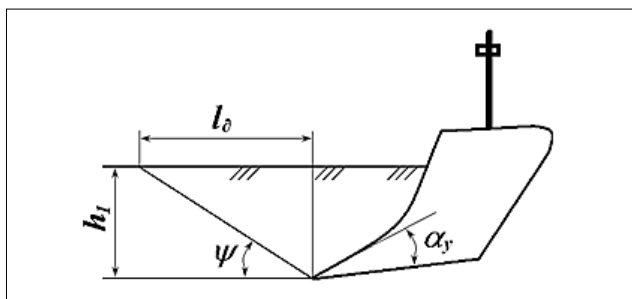


Fig. 3. Determination of longitudinal distance between the tractor's driving rear wheels and working tools making furrows for introducing fertilizers

$$l_1 > l_0, \quad (3)$$

where  $l_0$  is longitudinal distance over which the soil deformation extends (Fig. 3):

$$l_0 = h_1 \operatorname{ctg} \psi, \quad (4)$$

where  $h_1$  is the operating depth of the working tools making furrows for applying organic fertilizers;

$\psi$  is the longitudinal splitting angle of the soil, which is equal to [6-8]:

$$\psi = \frac{\pi}{2} - \frac{\alpha_y + \varphi_1 + \varphi_2}{2}, \quad (5)$$

where  $\alpha_y$  is the soil penetration angle of the working tool tip;

$\varphi_1, \varphi_2$  – respectively, are angles of external and internal soil friction.

Operating depth  $h_1$  of the working tools making furrows for applying organic fertilizers can be determined with the formula [9, 10]:

$$h_1 = \frac{\sqrt{2} H_c}{1 + \sqrt{2}}, \quad (6)$$

where  $H_c$  is the total depth of the furrow for applying organic fertilizers.

Taking into account equations (4)-(6), expression (3) can be presented as:

$$l_1 > \frac{\sqrt{2} H_c}{1 + \sqrt{2}} \operatorname{tg} \left( \frac{\alpha_y + \varphi_1 + \varphi_2}{2} \right). \quad (7)$$

Longitudinal distance between the working tools making furrows for applying fertilizers and the fertilizer spreader is determined basing on the condition that organic fertilizers should be applied along the entire length of the furrows to the same depth.

To fulfill this condition, fertilizers should be applied to the bottom of the furrows after shedding lumps and soil particles from their slopes, which means that:

$$l_2 > l_3 + V_a t + 0,5 d_T, \quad (8)$$

where  $l_3$  is the length of the working tool making furrows;

$V_a$  is the operating speed of the unit;

$t$  is the time spent on shedding lumps to the furrow bottom from its slopes;

$d_T$  is the fertilizer spreader diameter.

In expression (8), the time spent on shedding lumps to the furrow bottom from its slopes is unknown. To determine it, we should make up a differential equation of motion for a lump falling from the furrow slope to its bottom (Fig. 4). It will look like this:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = G \sin \varepsilon - F, \quad (9)$$

where  $m$  is the lump mass;

$x$  is the reference axis directed along the furrow slope;

$G$  is the lump weight;

$\varepsilon$  is the inclination angle of the furrow slope to the horizon (the angle of natural shedding of the soil);

$F$  is friction force.

Taking into account that  $G = mg$  (where  $g$  is the acceleration of gravity) and  $F = f_2 G \cos \varepsilon = f_2 mg \cos \varepsilon$



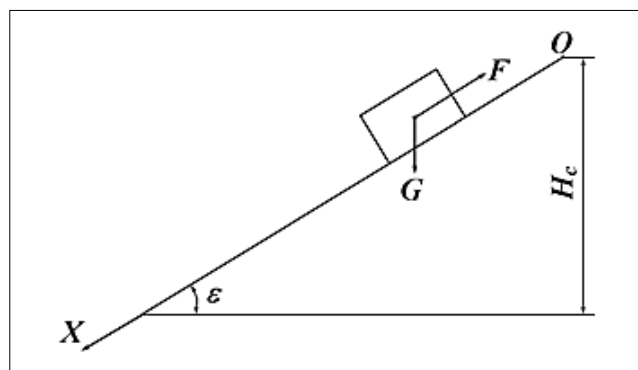


Fig. 4. Movement of soil lumps along the furrow slope

(where  $f_2$  is the coefficient of internal friction of the soil), expression (9) can be represented as follows:

$$\frac{d^2 X}{dt^2} = g(\sin \varepsilon - f_2 \cos \varepsilon). \quad (10)$$

Performing double integration of this equation taking into account the initial conditions

(at  $t = 0$  ( $dX/dt = 0$  and  $x = 0$ ), we get:

$$X = \frac{gt^2}{2} (\sin \varepsilon - f_2 \cos \varepsilon). \quad (11)$$

This equation for a lump crumbling from the very top of the furrow slope has the following form:

$$\frac{H_c}{\sin \varepsilon} = \frac{gt^2}{2} (\sin \varepsilon - f_2 \cos \varepsilon). \quad (12)$$

Solving it with respect to  $t$ , we determine the time spent on lump shedding to the furrow bottom:

$$t = \sqrt{\frac{2H_c}{g(\sin \varepsilon - f_2 \cos \varepsilon) \sin \varepsilon}}. \quad (13)$$

Given this expression, equation (8) takes the form:

$$l_2 > l_3 + V_a \sqrt{\frac{2H_c}{g(\sin \varepsilon - f_2 \cos \varepsilon) \sin \varepsilon}} + 0,5d_T. \quad (14)$$

Longitudinal distance between the fertilizer spreader and the working tool making an irrigation furrow is determined on the basis of the following condition:

$$l_3 > V_a \sqrt{\frac{2H_y}{g}} + \frac{\sqrt{2}H}{1+\sqrt{2}} \operatorname{tg} \left( \frac{\alpha_c + \varphi_1 + \varphi_2}{2} \right), \quad (15)$$

where  $H_y$  is the arrangement height of the fertilizer spreader relative to the furrow bottom for applying fertilizers;

$H$  is the total depth of an irrigation furrow;

$\alpha_c$  is the soil penetration angle of the working tool

making an irrigation furrow.

When condition (15) is fulfilled, the application of organic fertilizers by working tools making an irrigation furrow starts after the fertilizers are fully applied to the furrow bottom intended for fertilizer application. As a result, the fertilizers are introduced to the required depth.

Basing on agrotechnical requirements and reference sources, we will take [10, 11]:  $b = 0.9$  m;  $b_y = 0.0.2$  m;  $H_c = 0.3$  m;  $\alpha_y = 30^\circ$ ;  $\varphi_1 = 30^\circ$ ;  $\varphi_2 = 40^\circ$ ;  $l_3 = 0.75$  m;  $V_a = 2$  m/s;  $H_y = 0.3$  m;  $H = 0.35$  m;  $g = 9.81$  m/s<sup>2</sup>, and also according to expressions (1), (2), (7), (14) and (15), we can find that transverse distance between the working tools making furrows for applying organic fertilizers should equal 0.9-1.3 m; transverse distance between the working tools making an irrigation furrow and a furrow for the application of organic fertilizers – 0.45-0.65 m; longitudinal distance between the tractor's driving rear wheels and the working tools making furrows for applying fertilizers – not less than 0.21 m; longitudinal distance between the tip of the working tools and the fertilizer spreader is at least 1.5 m; longitudinal distance between the fertilizer spreader center and the working tool tip making an irrigation furrow – at least 0.74 m

**CONCLUSIONS.** As a result of theoretical studies on the configuration of working tools of a combined unit for preparing fields for planting by making furrows for fertilizer application and irrigation furrows, as well as local fertilizer application, analytical dependences have been obtained taking account of the performance of a given process.

Using these dependencies, we have calculated that transverse distance between the working tools that make furrows for applying organic fertilizers should range between 0.9 and 1.3 m, transverse distance between the working tools making an irrigation furrow and a furrow for the application of organic fertilizers is 0.45- 0.65 m. The optimal values of longitudinal distances have been found as well: between the tractor's rear wheels and the working tools making furrows for applying fertilizers – no less than 0.21 m, between the tip of working tools and the fertilizer spreader – no less than 1.5 m, and between the fertilizer spreader center and the tip of working tools making an irrigation furrow – at least 0.74 m.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Марченко Н.М., Личман Г.И., Шебалкин А.Е. Механизация внесения органических удобрений. М.: Агропромиздат, 1990. 207 с.
2. Трапезников В.К., Иванов И.И., Тальвинская Н.Г. Локальное питание растений. Уфа: Гилем. 1999. 259 с.
3. Утениязов П. Технология локального внесения орга-

нических удобрений // *Agro ilm.* 2016. N1(39). С. 70-71.

4. Ауезов О., Утениязов П. Устройство для подготовки органических удобрений для локального внесения // *Agro ilm.* 2017. N3(47). С. 31-35.

5. Абдурахманов А., Утениязов П. Устройство для локального внесения органических удобрений под бахче-

вые культуры // *Agro ilm*. 2018. N4(54). С. 84-85.

6. Кленин Н.И., Сакун В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. М.: Колос. 2005. 671 с.

7. Маматов Ф.М. Сельскохозяйственные машины. Ташкент: Фан. 2007. 339 с.

8. Ибрагимов А. Обоснование расстояния между рабочими органами комбинированного агрегата для рядового сева зерновых в междурядье хлопчатника // *Научно-технический журнал ФерПИ*. 2015. N1. С. 123-124.

9. Сергиенко В.А. Технологические основы механизации

обработки почвы в междурядьях хлопчатника. Ташкент: Фан. 1978. 12 с.

10. Тухтакузиев А., Ибрагимов А., Атамкулов А. Исследование равномерности глубины хода бороздореза сеялки для сева зерновых в поливном земледелии // *Техника в сельском хозяйстве*. 2014. N5. С. 2-3.

11. Лобачевский Я.П., Эльшейх А.Х. Обоснование расстановки дисковых рабочих органов в комбинированных почвообрабатывающих агрегатах // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2009. Т. 3. N4. С. 22-25.

## REFERENCES

1. Marchenko N.M., Lichman G.I., Shebalkin A.E. Mekhanizatsiya vneseniya organicheskikh udobreniy [Mechanization of organic fertilizer application]. Moscow: Agropromizdat. 1990. 207 (In Russian).

2. Trapeznikov V.K., Ivanov I.I., Tal'vinskaya N.G. Lokal'noye pitaniye rasteniy [Local nutrition of plants]. Ufa: Gilem. 1999. 259 (In Russian).

3. Uteniyazov P. Tekhnologiya lokal'nogo vneseniya organicheskikh udobreniy [Technology of the localization of organic fertilizers]. *Agro ilm*. 2016. N1(39). 70-71 (In Uzbek).

4. Auyezov O., Uteniyazov P. Ustroystvo dlya podgotovki organicheskikh udobreniy dlya lokal'nogo vneseniya [Device for the preparation of organic fertilizers for local application]. *Agro ilm*. 2017. N3(47). 31-35 (In Uzbek).

5. Abdurakhmanov A., Uteniyazov P. Ustroystvo dlya lokal'nogo vneseniya organicheskikh udobreniy pod bakhchevye kul'tury [Device for local application of organic fertilizers for melons]. *Agro ilm*. 2018. N4(54). 84-85 (In Uzbek).

6. Klenin N.I., Sakun V.A. Sel'skokhozyaystvennye i meliorativnye mashiny [Agricultural and land reclamation machines]. Moscow: Kolos. 2005. 671 (In Russian).

7. Mamatov F.M. Sel'skokhozyaystvennye mashiny [Agricultural machines]. Tashkent: Fan. 2007. 339 (In Uzbek).

8. Ibragimov A. Obosnovaniye rasstoyaniya mezhdu rabochimi organami kombinirovannogo agregata dlya ryadovogo seva zernovykh v mezhduyad'ye khlopchatnika [Determining the distance between the working tools of a combined unit for ordinary grain sowing in cotton interrows]. *Nauchno-tekhnicheskii zhurnal FerPI*. 2015. N1. 123-124 (In Uzbek).

9. Sergiyenko V.A. Tekhnologicheskie osnovy mekhanizatsii obrabotki pochvy v mezhduyad'yakh khlopchatnika [Technological fundamentals of the mechanization of soil cultivation in cotton inter-rows]. Tashkent: Fan. 1978. 12. (In Uzbek).

10. Tukhtakuziev A., Ibragimov A., Atamkulov A. Issledovanie ravnomernosti glubiny khoda borozdoreza seyalki dlya seva zernovykh v polivnom zemledelii [Study of the furrow depth uniformity of a seed drill used for grain seeding in irrigated agriculture]. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 2014. N5. 2-3 (In Russian).

11. Lobachevskiy Ya.P., El'sheykh A.H. Obosnovanie rastanovki diskovykh rabochikh organov v kombinirovannykh pochvoobrabatyvayushchikh agregatakh [Rationale for the placement of disk working bodies in the combined soil-cultivating aggregates]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2009. Vol. 3. N4. 22-25 (In Russian).

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 10.09.2018  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 10.09.2018

Статья принята к публикации 06.11.2018  
The paper was accepted  
for publication on 06.11.2018

## Эффективность работы энергосберегающей мини-зерносушилки с комбинированной системой теплоснабжения

Умудвар Рафаиль оглы Гасанов,  
диссертант, старший научный сотрудник;

Севи́ль Айдын кызы Магеррамова,  
диссертант, старший специалист

Научно-исследовательский институт «Агромеханика», г. Гянджа, Республика Азербайджан

**Реферат.** Приведены описание и принцип работы энергосберегающей мини-зерносушилки для сушки малых партий зерна в фермерских хозяйствах с применением кондуктивного и конвективного способов сушки и процесса охлаждения зерна, использующей для сушки теплоту, полученную от традиционного источника тепла, и теплоноситель, подготовленный посредством солнечного коллектора или заряженного теплового аккумулятора. (*Цель исследования*) Разработать и изучить малогабаритную энергосберегающую зерновую сушилку, в системе теплоснабжения которой наряду с использованием теплоты традиционного источника предусматривается применение теплоносителя, нагретого с помощью солнечного коллектора или заряженного теплового аккумулятора. (*Материалы и методы*) Выполнили экспериментальные исследования процесса сушки зерна пшеницы для определения эффективности работы разработанного устройства; основным условием экономии энергосбережения принята минимизация суммарных удельных затрат на испарение одного килограмма влаги. (*Результаты и обсуждение*) Провели двухфакторный эксперимент по определению основных оптимальных параметров, влияющих на процесс сушки зерна, – скорости движения зерна в кондуктивной камере и температуры греющей поверхности ее кожуха на основе построенной математической модели. В первом варианте сушку осуществляли только кондуктивным способом с использованием теплоты традиционного источника энергии. Во втором варианте сушку провели последовательным применением кондуктивного и конвективного способов, а также выполнили охлаждение зерна с использованием тепловой энергии, полученной от традиционного источника, теплоты солнечного излучения и теплоты отработанного теплоносителя. (*Выводы*) Выявили, что наиболее эффективный вариант с точки зрения экономии тепловой энергии – сушка зерна при последовательном применении кондуктивного и конвективного способов с последующим охлаждением зерна. Теплоснабжение сушильной установки частично осуществляли за счет использования теплоты солнечного излучения и теплоты, полученной от рециркуляции отработанного теплоносителя. В данном оптимальном варианте затраты теплоты на испарение одного килограмма влаги из зерна минимальны и составили 1,53-2,50 МДж на килограмм при скорости движения зерна в сушилке 0,007-0,011 м в секунду и при температуре греющей поверхности 85-91 градус Цельсия.

**Ключевые слова:** сушка зерна, сушильное устройство, теплоснабжение, энергосбережение, регрессионный анализ, тепловая энергия.

■ **Для цитирования:** Гасанов У.Р., Магеррамова С.А. Эффективность работы энергосберегающей мини-зерносушилки с комбинированной системой теплоснабжения // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. Т. 12. №6. С. 9-14. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-6-9-14.

## Performance Efficiency of an Energy-Saving Mini Dryer with a Combined Heat Supply System

Umudvar R. Gasanov,  
Ph.D. seeker, senior research engineer;

Sevil A. Magerramova,  
Ph.D. seeker, senior expert,  
e-mail: aqromexanika@mail.ru

Scientific Research Institute “Agromexanika”, Gyanja, the Azerbaijan Republic

**Abstract.** The paper presents the description and operating principle of energy-saving mini-grain dryers for drying small grain batches on farms using conductive and convective drying methods and the process of grain cooling with heat obtained from a traditional heat source and a heat carrier prepared with a solar collector or a charged heat storage. (*Research purpose*) To develop and study a compact energy-saving grain dryer, with a heat supply system based on both a traditional source and a heat transfer fluid heated by a solar collector or a charged heat storage. (*Materials and methods*) The authors have carried out experimental studies of the drying process of wheat grain to determine the effectiveness of the developed unit for grain



drying; the main condition for saving energy has been taken as the minimization of the total unit cost of the evaporation of one kilogram of moisture. (*Results and discussion*) The authors have conducted a two-factor experiment to determine the main optimal parameters affecting the grain drying process - the speed of grain movement in the conductive chamber and the temperature of the heating surface of its casing based on the calculated mathematical model. In the first variant, the drying process was carried out only by the conductive method using the heat from a traditional energy source. In the second variant, the drying was carried out by successive use of conductive and convective methods, and the grain was cooled using both thermal energy received from a traditional source and solar radiation heat along with the heat of the spent heat carrier. (*Conclusions*) The study has revealed that the most effective option in terms of saving thermal energy is grain drying with the consistent use of conductive and convective drying methods followed by grain cooling. The heat supply of the drying unit was partially carried out by using the heat of solar radiation and the heat obtained from the spent coolant recycling. In this optimal variant, the heat consumption for evaporation of one kilogram of moisture from the grain is minimal and amounts to 1.53-2.50 MJ per kilogram with a grain movement speed of in the dryer of 0.007-0.011 m per second and a heating surface temperature of 85-91 degrees Celsius.

**Keywords:** grain drying, drying device, heat supply, energy saving, regression analysis, thermal energy.

**For citation:** Gasanov U.R., Magerramova S.A. Effektivnost' raboty energosberegayushchey mini-zernosushilki s kombinirovannoy sistemoy teplosnabzheniya [Performance efficiency of an energy-saving mini dryer with a combined heat supply system]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. Vol. 12. N6. 9-14. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-6-9-14 (In Russian).

**T**o solve the problem of food security, agriculture and the processing industry of the Republic of Azerbaijan face the task of not only increasing food production, but also improving its quality indicators.

In order to avoid losses and ensure the safety of the crops grown, farms widely apply post-harvest processing technologies, including drying and thermal disinfection. Drying of grain crops is a complex and rather energy-intensive technological process, which provides not only the preservation of quality indicators, but in some cases their improvement. According to expert estimates, the share of energy consumption in the cost of grain drying is 75-80%, and the price of energy materials accounts for 80-90% [1]. Therefore, the choice of methods and rational modes of the process should take account of the scientific foundations of drying, from studying the product properties as a drying object to rational designing of a drying unit.

Agricultural development shows that in addition to high-performance drying devices, existing farms also need small-sized energy-saving drying units for drying small batches of grain that meet modern environmental requirements and use the existing thermal potential of the environment [2-4]. To solve this problem, studies have been conducted, the results of which have helped to develop contact-type plants for drying grain with a capacity of up to 0.5 ton/hour [5-8].

**THE RESEARCH PURPOSE** is the development and study of a compact energy-saving grain dryer, in the heating system of which, along with the use of heat from a traditional source, it is planned to use a heat carrier preheated with a solar collector or a charged heat accumulator.

**MATERIALS AND METHODS.** When designing a compact grain drying unit, the main criteria were the minimization of heat consumed to evaporate one kg of moisture

during grain drying, as well as compliance with all requirements for the quality indicators of dried grain or seed material. *Fig. 1* shows the structural diagram of the developed compact grain dryer with a combined heat supply.

The main structural elements of a compact grain dryer include conductive 6 and convective 14 drying chambers, as well as a cooling chamber 13. The heating system includes solar collector 1, heat accumulator 18, electric heating elements 15 located in duct 16. The coolant moves through air ducts 4, 17, 25 under the action of pressure fan 2, and the spent coolant is removed through pipe 9. The circulation circuit is selected with seven shut-off and control valves 3, 19-23, 26. Grain from hopper 5 enters conductive chamber 6, from where, through transporting body 8 located in casing 7 with actuator 24, it moves into convection chamber 14, and then into cooling chamber 13. The bulk density of the grain in the chambers is regulated by means of weight valves 10 and 12. Atmospheric air for cooling the grain in the cooling chamber is supplied through compressor 11.

Grain drying in the proposed dryer is implemented consistently by conductive (direct contact of the grain with the heating surface) and convective (by means of a drying agent) methods, and cooling is done with atmospheric air. Depending on the climatic conditions, heat is supplied to the drying chamber either directly from the heating elements or from the heat carrier preheated in a solar air collector or heat accumulator. Use can be made of a combination of heating elements and a coolant. The drying device provides for the possibility of charging the heat accumulator with thermal energy due to the coolant prepared in a solar air collector, as well as active ventilation of the grain.

To identify the effectiveness of the developed

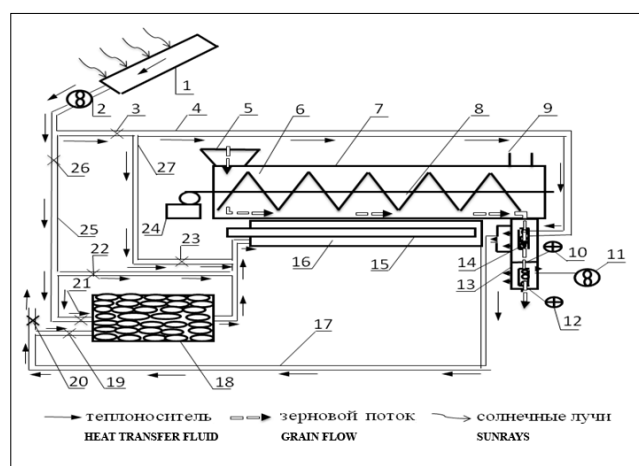


Fig. 1. Design scheme of a compact grain dryer

combined mini-grain dryers, experimental studies have been conducted. The obtained data have been processed using a correlation-regression analysis; the authors have also studied the relationship between the output parameter and the input variable independent factors, and basing on the results, they compiled a mathematical model of the grain drying process in a compact grain dryer with a combined heat supply. The technology has been patented (RF Patent No. 2625589 dated July 17, 2017).

**RESULTS AND DISCUSSION.** To determine the minimum heat input needed to evaporate one kg of moisture in the process of wheat drying based on the mathematical model, a two-factor experiment has been conducted to determine the main optimal parameters affecting the grain drying process - the speed of grain movement in the conductive chamber  $V_3$  and the heating surface temperature of its casing  $t_{rp,n}$  [9-12]. Experimental studies on the determination of thermal energy needed to evaporate 1 kg of moisture during the drying of wheat grain conducted in the first embodiment, when for conductive drying only the thermal energy of the traditional source, or the thermal energy received from the electric heating elements, has been used. In the second variant, the grain drying was carried out sequentially by conductive and convective methods, where, along with the thermal energy received from the electric heating elements, the thermal energy accumulated by the solar air collector was partially used, after which the grain was cooled with atmospheric air. The limits of changes in the grain movement speed in the conductive chamber  $V_3$  ( $X_1$ ) = 0.002-0.011 m/s, the heating surface temperature of the conductive chamber  $t_{rp,n}$  ( $X_2$ ) = 70-103°C; the coolant speed in the drying unit was 2.63 m/s (zero option).

To determine the regression equations of both options, the authors have performed experimental studies, basing on the results of which, they have constructed orthogonal experiment planning matrices and obtained regression equations in actual values:

option 1:

$$q = 86.92 + 742.06V_3 - 1.97t_{rp,n} - 34074 V_3^2 + 0.012 t_{rp,n}^2 - 7.21 t_{rp,n}; \quad (1)$$

option 2:

$$q = 5.2185 - 513.1041 V_3 - 0.0293 t_{rp,n} + 33672.2769 V_3^2 + 0.00026 t_{rp,n}^2 - 1.5549 V_3 t_{rp,n}, \quad (2)$$

where  $q$  is specific heat consumption for moisture evaporation, MJ/kg;

$V_3$  is grain velocity in the conductive chamber of the dryer, m/s;

$t_{rp,n}$  is the heating surface temperature of the dryer's conductive chamber, °C.

Criterion-based estimation of the obtained regression equations is given in the table.

$F_p$  and  $F_T$  are, respectively, the calculated and tabulated values of Fisher's criterion for determining the adequacy of the obtained regression equation;  $t_p$  and  $t_{0.5}$ , are, respectively, the calculated and tabulated values of Student's criterion for determining the significance of the regression equation coefficients.

The calculated values of Fisher's criterion

(for option 1:  $F_t = 2.6 > F_p = 2.48$ ;

for option 2:  $F_t = 2.68 > F_p = 2.41$ ) indicate the adequacy of the mathematical models obtained, and the comparison of the calculated and tabulated values of Student's criterion

(for option 1:  $t_p = 5.23$ ;  $t_{0.5} = 2.06$ ;

for option 2:  $t_p = 2.75$ ;  $t_{0.5} = 2.06$ ) confirms the accuracy of the studies performed.

Graphic images of the response surfaces from the interaction of the grain flow rate and the heating surface temperature of the dryer's conductive chamber and their effect on the optimization criteria are shown in Fig. 2.

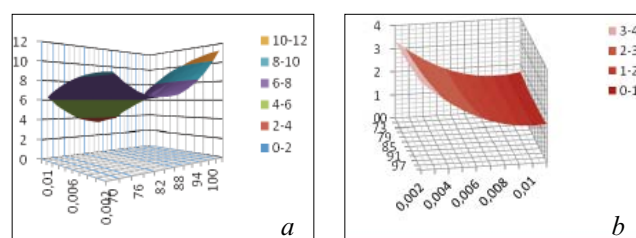


Fig. 2. Graphic interpretation of regression equations (1): a - option 1; b - option 2

The response surfaces represent a hyperbolic paraboloid (saddle) for option 1; while an elliptical paraboloid – for option 2.

The regression equations (1) in coded values can be represented as:

option 1:

$$Y = 4.25 - 1.47X_1 + 1.38X_2 - 0.69X_1^2 + 3.56X_1^2 - 0.55X_1 \cdot X_2; \quad (3)$$

Table

| CRITERIA ESTIMATION OF THE REGRESSION EQUATIONS |                      |                         |           |                          |            |
|-------------------------------------------------|----------------------|-------------------------|-----------|--------------------------|------------|
| Option number                                   | Correlative relation | Values of Fisher's test |           | Values of Student's test |            |
|                                                 |                      | calculated              | tabulated | calculated               | tabulated  |
|                                                 | $R$                  | $F_p$                   | $F_T$     | $t_p$                    | $t_{T0.5}$ |
| 1                                               | 0.964                | 2.48                    | 2.6       | 5.23                     | 2.06       |
| 2                                               | 0.917                | 2.41                    | 2.68      | 2.75                     | 2.06       |

option 2:

$$Y = 1.863 - 0.948X_1 + 0.107X_2 + 0.682X_1^2 + 0.076X_2^2 - 0.119X_1 \cdot X_2. \quad (4)$$

It follows then that the linear term of the equation – the grain flow rate in the dryer ( $X_1$ ) – has the greatest influence on the optimization parameters, while the smallest effect is offered by the combination of the grain flow rate and the heating surface temperature ( $X_1$  and  $X_2$ ). Among the nonlinear terms of the equation, the square of the heating surface temperature has a significant effect on the optimization parameter, the increase of which causes a sharp increase in the latter. An analysis of equation (4) shows that, among the linear coefficients, the grain flow rate in the dryer has the greatest influence on the optimization parameters ( $X_1$ ), and among the nonlinear ones, the flow rate ( $X_1^2$ ). The least influence is offered by the square of the heating surface temperature ( $X_2^2$ ).

After determining the types of response surfaces, the authors analyzed them using a two-dimensional section performed with the coded values of factors. To determine the response surface center of the obtained mathematical models, partial derivatives were found for each factor. The resulting expression was equated to zero. After that, a canonical transformation of the second-order model was carried out and the graphical-and-analytical analysis of the resulting expression was performed.

Option 1:

$$\begin{cases} \frac{dY}{dX_{1s}} = -1,47 - 1,38X_{1s} - 0,55X_{2s} \\ \frac{dY}{dX_{2s}} = 1,38 + 7,12X_{2s} - 0,55X_{1s} \end{cases} \quad (5)$$

$$X_{1s} = -2.06; X_{2s} = -0.267$$

Option 2:

$$\begin{cases} \frac{dY}{dX_{1s}} = -0,948 + 1,364X_{1s} - 0,119X_{2s} \\ \frac{dY}{dX_{2s}} = 0,107 + 0,152 - 0,119X_{1s} \end{cases} \quad (6)$$

$$X_{1s} = 0.681; X_{2s} = -0.171.$$

After substituting the values ( $X_{1s}$ ) and ( $X_{2s}$ ) into equations (3) and (4), the total unit costs for moisture evaporation in the surface center were determined:

for option 1:  $S_{\min} = 3.68$  MJ/kg;

for option 2:  $V_{\min} = 1.53$  MJ/kg.

Then the authors performed the canonical transformation of equations (3) and (4) by solving the characteristic equation:

$$f(B) = \begin{vmatrix} b_{11} - B & 0,5b_{12} \\ 0,5b_{12} & b_{22} - B \end{vmatrix} = B^2 - (b_{11} + b_{22})B + (b_{11}b_{22} - 0,25b_{12}^2) = 0 \quad (7)$$

After the substitution of values:

for option 1:

for option 2:

$$B^2 - 2.865B - 2.326 = 0; B^2 - 0.758B - 0.0119 = 0. \quad (8)$$

The characteristic equation roots:

for option 1:

for option 2:

$$b_{11} = 3.529, b_{22} = -0.659; b_{11} = 0.731, b_{22} = 0.0273.$$

The equation in a canonical form can be represented as:

option 1:

$$Y_{12} - 3.68 = 3.529X_1^2 - 0.659X_2^2;$$

option 2:

$$Y_{12} - 1.531 = 0.731X_1^2 - 0.0273X_2^2. \quad (9)$$

Checking-up the accuracy of the calculations:

option 1:

option 2:

$$\Sigma b_{ii} = -0.69 + 3.56 = 2.87; \Sigma b_{ii} = 0.682 + 0.076 = 0.758; \\ \Sigma b_{ii} = 3.529 - 0.659 = 2.87; \Sigma b_{ii} = 0.731 + 0.0273 = 0.758.$$

The rotation angle of the reference axes at point S:

option 1:

$$\operatorname{ctg} 2\alpha = \frac{b_{ii} - b_{jj}}{b_{ij}} = \frac{-0,69 - 3,56}{0,55} = -7,72;$$

option 2:

$$\operatorname{ctg} 2\alpha = \frac{b_{ii} - b_{jj}}{b_{ij}} = \frac{-0,3125 - 1,2345}{0,2472} = -6,26. \quad (10)$$

The angle  $\alpha$  is negative, therefore, the axes are rotated clockwise relative to the center of the two-dimensional



section of the response surface. Canonical equations (9), (10) are used to construct the contour curves of the response surface. Fig. 3 shows two-dimensional sections of the response surface characterizing the total specific heat consumption for moisture evaporation, MJ/kg.

Fig. 3 shows that the parameter  $X_1$  (option 1) affects the value of the total specific heat consumption for moisture evaporation more intensively than the parameter  $X_2$ . The study revealed that when drying wheat grain with a compact grain dryer using a conductive method and a traditional energy source for heat supply only, the flow rate of a heat carrier in the drying unit is 2.63 m/s and it is possible to achieve a minimum of total specific heat consumption for the evaporation of moisture of 3.68 MJ/kg, and the optimum range of 3.68-4.5 MJ/kg corresponds to the range of the grain flow rate of 0.007-0.011 m/s and a heating surface temperature of 85-91°C. In option 2, the change in the parameter  $X_1$  influences the value of the total specific heat consumption more intensively than the parameter  $X_2$ .

The most effective option in terms of saving thermal energy is associated with grain drying based on the sequential use of conductive and convective methods with subsequent cooling. In this case, to supply heat to the drying installation, use is made not only of solar radiation heat, but also of the heat obtained from recycling the spent coolant. In this optimal variant, when the coolant velocity in the drying unit is 2.63 m/s, the heat consumption for evaporation of 1 kg of moisture

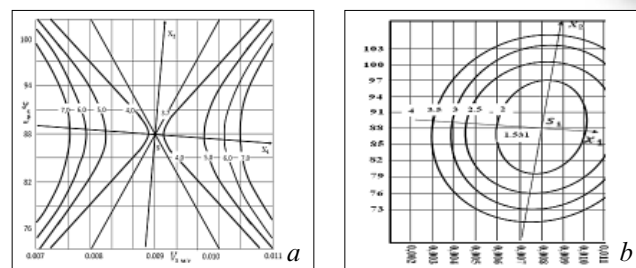


Fig. 3. Two-dimensional cross-sections of the response surface characterizing the total specific heat consumption for moisture evaporation, MJ/kg; a – option 1, b – option 2

from the grain is minimal and equals 1.53-2.50 MJ/kg with the grain flow rate in the dryer of 0.007-0.011 m/s and at the heating surface temperature of 85-91°C.

### CONCLUSIONS

The developed mini-grain dryer with a combined heat supply as contrasted to the existing small-sized dryers can significantly reduce energy consumption when using the combined method of grain drying with its subsequent cooling.

The carried out experimental studies have allowed to determine the optimal operation modes of a grain dryer, at which the specific heat consumption of a traditional thermal energy source for moisture evaporation is minimal and amounts to 1.53-2.50 MJ/kg, at a grain flow rate in the dryer of 0.007-0.011 m/s and the heating surface temperature of the conductive chamber of 85-91°C.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сорочинский В.Ф. Снижение энергозатрат при конвективной сушке зерна // *Хранение и переработка зерна*. 2010. N10. С. 43-45.
2. Гасанов У.Р. Результаты исследования применения солнечных коллекторов в снабжении тепловой энергией комбинированной зерносушилки // *Аграрная наука Азербайджана*. 2017. N1. С. 143-145.
3. Фаталиев К.Х., Гаджиев И.М., Алиев И.Х., Гасанов У.Р. Прогнозирование потребности в тепловой энергии энергосберегающей мини-зерносушилки в зависимости от климатических условий // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2016. N4 (19). С. 164-169.
4. Гасанов У.Р. Изучение режимов зарядки разрядки теплового аккумулятора, включенного в систему теплоснабжения комбинированной зерносушилки // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2017. N4 (25). С. 16-19.
5. Курдюмов В.И., Павлушин А.А., Карпенко Г.В., Сутягин С.А. Тепловая обработка зерна в установках контактного типа. Ульяновск: УГСХА им. П.А. Столыпина. 2013. 290 с.
6. Курдюмов В.И., Павлушин А.А., Сутягин С.А. Теоретические аспекты в установках контактного типа при сушке зерна // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2015. N2

- (12). С. 159-161.
7. Курдюмов В.И., Павлушин А.А., Сутягин С.А. Энергозатраты на процесс сушки зерна // *Вестник ВИЭСХ*. 2012. Т. 2. N7. С. 52-54.
8. Игонин В.И., Сотников М.В. Оптимизация параметров сушки зерна в спирально-винтовой зерносушилке // *Техника в сельском хозяйстве*. 2007. N5. С. 32-33.
9. Джонсон Н., Лион Ф. Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: пер. с англ. Э.К. Лецкого. М.: Мир. 1980. 510 с.
10. Веденяпин Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработка опытных данных. М.: Колос. 1973. 199 с.
11. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Зюлин А.Н. Разработка и внедрение высокоэффективных ресурсо- и энергосберегающих технологий и технических средств послеуборочной обработки зерна и подготовки семян // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2009. Т. 3. N1. С. 2-9.
12. Дринча В.М., Пехальский И.А., Пехальский М.В. Влияние машинного воздействия на качество семян // *Техника в сельском хозяйстве*. 1998. N1. С. 35-37.

**REFERENCES**

1. Sorochinskiy V.F. Snizhenie energozatrat pri konvektivnoy sushke zerna [Reduction of energy consumption during convective grain drying]. *Khraneniye i pererabotka zerna*. 2010. N10. 43-45 (In Russian).
2. Gasanov U.R. Rezul'taty issledovaniya primeneniya solnechnykh kollektorov v snabzhenii teplovoy energiyey kombinirovannoy zernosushilki [Research results of the use of solar collectors in the thermal energy supply to a combined grain dryer]. *Agrarnaya nauka Azerbaydzhana*. 2017. N1. 143-145 (In Russian)
3. Fataliev K.Kh., Gadzhiev I.M., Aliev I.Kh., Gasanov U.R. Prognozirovaniye potrebnosti v teplovoy energii energosberegayushchey mini-zernosushilki v zavisimosti ot klimaticheskikh usloviy [Forecasting of the thermal energy of an energy-saving mini dryer depending on climatic conditions]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2016. 4(19). 164-169 (In Russian).
4. Gasanov U.R. Izuchenie rezhimov zaryadki razryadki teplovogo akkumulyatora, vklyuchennogo v sistemu teplo-snabzheniya kombinirovannoy zernosushilki [Study of charging and discharging modes of a heat accumulator within the heat supply system of a combined grain dryer]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2017. N4(25). 16-19 (In Russian).
5. Kurdyumov V.I., Pavlushin A.A., Karpenko G.V., Sutyagin S.A. Teplovaya obrabotka zerna v ustanovkakh kontaktnogo tipa [Thermal grain treatment in contact-type installations]. Ul'yankovsk: UGSKHA im. P.A. Stolypina. 2013. 290 (In Russian).
6. Kurdyumov V.I., Pavlushin A.A., Sutyagin S.A. Teoreticheskiye aspekty v ustanovkakh kontaktnogo tipa pri sushke zerna [Theoretical operational aspects of contact type grain driers]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2015. N2(12). 159-161 (In Russian).
7. Kurdyumov V.I., Pavlushin A.A., Sutyagin S.A. Energozatraty na protsess sushki zerna [Energy consumption of grain drying]. *Vestnik VIESH*. 2012. Vol. 2. N7. 52-54 (In Russian).
8. Igonin V.I., Sotnikov M.V. Optimizatsiya parametrov sushki zerna v spiral'no-vintovoy zernosushilke [Optimization of grain drying parameters in a spiral-screw grain dryer]. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 2007. N5. 32-33 (In Russian).
9. Dzhonson N., Lion F. Statistika i planirovaniye eksperimenta v tekhnike i nauke [Statistics and experiment planning in engineering and science]: translated from English by E.K. Letsky. Moscow: Mir. 1980. 510 (In Russian).
10. Vedenyapin G.V. Obshchaya metodika eksperimental'nogo issledovaniya i obrabotka opytnykh dannykh [General methods of experimental research and experimental data processing]. Moscow: Kolos. 1973. 199 (In Russian).
11. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Zyulin A.N. Razrabotka i vnedreniye vysokoeffektivnykh resurso- i energosberegayushchikh tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv posleuborochnoy obrabotki zerna i podgotovki semyan [Development and implementation of high-performance resource and energy-saving technologies and technical means of post-harvest grain treatment and seed preparation]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2009. Vol. 3. N1. 2-9 (In Russian).
12. Drincha V.M., Pekhal'skiy I.A., Pekhal'skiy M.V. Vliyaniye mashinnogo vozdeystviya na kachestvo semyan [Impact engine the impact on quality of seeds]. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 1998. N1. 35-37 (In Russian).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

**Статья поступила в редакцию 24.10.2018**  
**The paper was submitted**  
**to the Editorial Office on 24.10.2018**

**Статья принята к публикации 19.11.2018**  
**The paper was accepted**  
**for publication on 19.11.2018**

УДК 631.312.34

DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-6-15-19

## Автоматизация управления работой садовой фрезы

**Виктор Николаевич Зволинский,**  
старший научный сотрудник;

**Максим Александрович Мосяков,**  
аспирант, младший научный сотрудник,  
e-mail: Maks.Mosyakov@yandex.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

**Реферат.** Рассмотрели преимущества приводных почвообрабатывающих орудий перед машинами с пассивными рабочими органами, позволяющие оперативно изменять и контролировать качество крошения почвы, ориентируясь на состояние обрабатываемых участков и мощность двигателя используемого энергосредства. (*Цель исследования*) Разработать систему автоматического поддержания величины выбранного кинематического параметра во время работы почвообрабатывающей фрезы, оборудованной гидроприводом рабочих органов. (*Материалы и методы*) Провели исследования с привлечением запатентованных материалов по использованию автоматизированных систем управления технологическими процессами предпосевной обработки почвы орудиями с гидроприводом рабочих органов. (*Результаты и обсуждение*) Определили, что блоки сравнения частот могут содержать формирователи импульсов, которые преобразуются электронным блоком управления в сигнал, поступающий к низкооборотному высокомоментному регулируемому гидромотору типа Danfoss МГП-160. Разработали систему автоматического поддержания величины выбранного кинематического параметра почвообрабатывающей фрезы путем оборудования ее рабочих органов гидроприводом с двухступенчатым гидрораспределителем, управляемым электронным блоком, позволяющую производить автоматическую настройку необходимой частоты вращения ножей фрез барабана, оптимальной для обрабатываемого агрофона. (*Выводы*) Выявили принципиальную схему автоматизированного гидравлического привода садового культиватора, способного отслеживать и корректировать частоту вращения фрез барабана.

**Ключевые слова:** садовая фреза, рабочие органы, автоматизация, эффективность, крошение почвенного пласта, кинематические параметры, гидропривод.

**■ Для цитирования:** Зволинский В.Н., Мосяков М.А. Автоматизация управления работой садовой фрезы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №6. С. 15-19. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-6-15-19.

## Automatic Operation of a Rotary Garden Cultivator

**Viktor N. Zvolinsky,**  
senior research associate, engineer,  
e-mail: vim@vim.ru;

**Maksim A. Mosyakov,**  
postgraduate student, junior research associate

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

**Abstract.** The paper discusses the advantages of power-driven tillage tools as compared with machines with passive working elements, which provide for quick changing and controlling of the quality of soil crumbling, guided by the condition of the treated areas and the engine power of the power source used. (*Research purpose*) To develop a system for automatically maintaining the magnitude of a selected kinematic parameter during the operation of a rotary cultivator equipped with a hydraulic drive of working elements. (*Materials and methods*) The authors have conducted research involving patented materials on the use of automated process control systems for pre-sowing soil cultivation with tools featuring hydraulic actuators of working elements. (*Results and discussion*) It has been determined that the frequency comparison blocks may contain pulse shapers that are converted by the electronic control unit into a signal sent to a low-speed, high-torque adjustable motor of a Danfoss MGP-160 type. A system has been developed to automatically maintain the value of a selected kinematic parameter of a rotary cultivator by equipping its working elements with a hydraulic actuator with a two-stage hydraulic distributor controlled by an electronic unit that allows automatic adjustment of the required speed of the rotary drum cutters, optimal for the treated soil background. (*Conclusions*) The authors have identified a schematic diagram of an automated hydraulic drive of a rotary garden cultivator capable of tracking and adjusting the rotary drum speed.



**Keywords:** rotary garden cultivator; working elements; automation; efficiency; crumbling of soil layer; kinematic parameters; hydraulic drive.

**For citation:** Zvolinsky V.N., Mosyakov M.A. Avtomatizatsiya upravleniya rabotoy sadovoy frezy [Automatic operation of a rotary garden cultivator]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. N6. 15-19. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-6-15-19 (In Russian).

**P**ower-driven tillage tools leave behind machines with passive working elements due to their ability to quickly change the quality of soil crumbling, focusing on the condition of plots and the applied engine power [1, 2]. This is usually done in two ways – by selecting the required speed of the unit or adjusting the speed of the working elements through the use of multispeed drive mechanisms (stepped or stepless). The rotary cultivation intensity can be changed by selecting the required number of knives on the rotary cultivator drum, however, this is rather laborious and time-consuming and it leads to the increased complexity of the tool design [3].

To automatically maintain the constancy of the kinematic parameter  $\lambda$ , the most promising option is design improving of hydraulically driven rotary machines, that are often used in garden cultivators. To this end, the machine is equipped with units for comparing the speed of a rotary drum and devices indicating the parameters of the forward movement of the implement (for example, support wheels or compactors) [4]. In this case, the speed comparators may contain pulse formers that are sufficient to alert the tractor driver in case of the violation of a known kinematic parameter:

$$\lambda = \frac{V_o}{V_{\Pi}}, \quad (1)$$

where  $V_o$  is drum peripheral speed, m/s;  $V_{\Pi}$  is translational speed of the unit, m/s.

Calculation and installation of the value of the supported kinematic parameter is carried out immediately before the work, focusing on the type of soil treatment, the type of soil, its humidity, the depth of tillage, and the design of working elements, etc.

**THE RESEARCH PURPOSE** is the development of an automatic support system for the magnitude of the selected kinematic parameter of the work of a soil-tilling rotary cultivator equipped with a hydraulic actuator of working elements.

**MATERIALS AND METHODS.** The studies were carried out with the use of patented materials on the use of automated process control systems for pre-sowing soil tillage with hydraulically actuated tools of working elements [5, 6].

**RESULTS AND DISCUSSION.** The kinematic parameter  $\lambda$  and the main characteristics of the rotary cultivator can be described with the following relationship (2):

$$\lambda = \frac{V_o}{V_{\Pi}} = \frac{R}{\sqrt{2Rh_{rp} - h_{rp}^2}} \times \left[ \frac{\pi(z+2)}{2z} - \arcsin \frac{R - h_{rp}}{R} \right], \quad (2)$$

where  $R$  is the radius of the knife drum, m;  $h_{rp}$  is the permissible height of combs at the furrow bottom, cm;  $z$  is the number of one-sided knives on the blade disk, pcs.

Due to the absence of reference information on the direct dependence of the quality of soil crumbling on such parameters as the peripheral speed and the shape of knives, the tillage depth, the drum speed and the methods of locating the knives on the rotary cultivator drum and the soil conditions at the time of tillage, soil fractions of certain sizes specified in the initial requirements can be obtained in several ways. The easiest way is to perform the tillage basing on the tillage feed  $S=2\pi R/\lambda z$  the thickness of the cut layers  $\delta=S\cos\alpha$ , the volume of the cut fraction  $V=Shb$ , the cross-sectional area of the cut layer  $F_{\Pi}$  in accordance with equation [3]:

$$F_{\Pi} = Sb\delta_{\max}. \quad (3)$$

Inserting the data from equation (2) into (3), we get:

$$\delta_{\max} = \frac{2\pi V_{\Pi} \sqrt{2R \cdot h_{rp} - h_{rp}^2}}{V_o z}, \quad (4)$$

where  $b$  is the knife width,  $h$  is the depth of tillage,  $\alpha$  is the angle of the knife rotation.

The volume of the cut soil fraction is determined by the formula:

$$V = Shb.$$

The most accurate is the method of calculating the predicted quality of crumbling over the cross-sectional area, linking the greatest number of parameters of the instrument and experimental data obtained, for example, in soil channels [7].

When choosing a kinematic parameter of tillage, one should take into account a possibility of the formation of so-called combs at the furrow bottom, which arise when the translational speed increases. On the other hand, the desire to get a smooth bottom, increasing the rotation speed of the knives, leads to excessive dust formation, which is also regulated by the requirements [2, 8].

Many years of experience in the use of rotary cultivators has shown that most often in the pre-sowing soil preparation, rotary cultivation in the range of 5-15 cm is used for soil tillage for grain crops and in gardens, 5-10 cm for row-crop cultivators, and 15-25 cm for rotary plows [9]. The cutting speed varies from 2.35 to 11 m/s, the translational speed varies from 1.1 to 2 m/s, and the cultivation feed varies from 2.5 to 18.6 cm.

To achieve the proper quality of the cutter operation under the selected modes, it is necessary to maintain the constancy of these parameters during operation. Changing the preliminary settings of the drive of the machine can occur due in areas with high humidity or soil hardness, working on fields with a slope of more than 3°, re-deepening or sticking of working bodies and for a number of other reasons. In these cases, a tractor operator stops the unit using the mechanical transmission and switches the rotational speed of the working parts on the central gearbox or reduces the working speed [10, 11]. These actions typically result in the loss of time and reduced shift performance of the unit. In addition, it is not always possible to trace the cases of stopping the machine operation when the friction clutch is actuated, as the tractor operator has his back to the machine and, due to engine noise, cannot tell by ear whether the machine is working or not. The rotary cultivator deepens and rolls on the non-working knife drum, while the tractive force of the inoperative rotary cultivator differs little from the tractive resistance of the operating machine [3, 12].

As an example, let us consider the design of a rotary cultivator used for tillage in gardens with working elements driven from a low-speed high-torque adjustable hydraulic motor of type 2 – Danfoss MGP-160 (Fig. 1).

The cultivator contains rotary drum 2 driven by hydraulic motor 4 with rotational speed sensor 5, supporting element 3 (for example, a compacting roller) rotating from soil reaction and equipped with rotational speed sensor 6; comparator 17 analyzing the indicated frequencies normalized in amplitude and duration by means of pulse formers 7 and 8; two two-digit counters 9 and 13, containing four triggers 10, 11, 14, 15, and two single vibrators 12 and 16.

The inputs of the pulse shapers are connected to the outputs of the rotational speed sensor of the rotary cultivator and the support element, as well as with electronic control unit 18 and electronic hydraulic amplifier 19.

The rotary cultivator works as follows. Before starting the operation, one should determine the required speed of the rotary drum knives and the required value of the translational speed of the unit, for which an appropriate gear is selected.

When the unit operates with a nominal ratio of the rotational speeds of the support element and the rota-

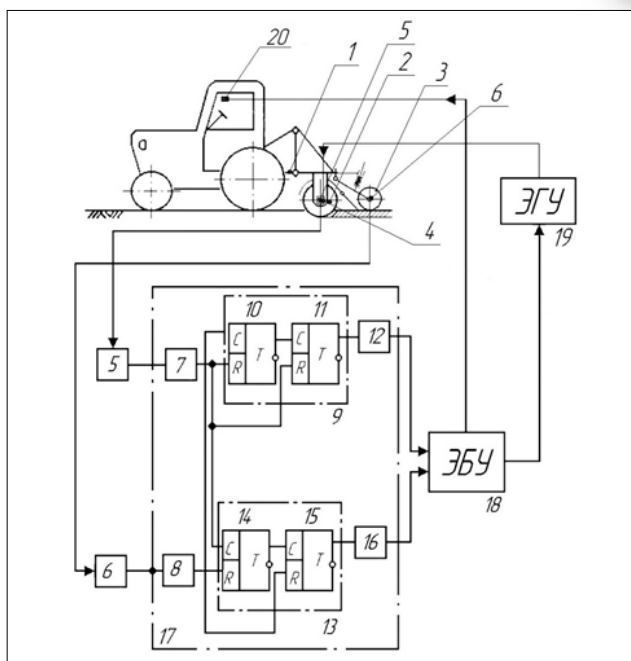


Fig. 1. Schematic diagram of an automated rotary cultivator with a hydraulic actuator of the working elements: 1 – frame; 2 – rotary drum; 3 – roller; 4 – hydraulic motor; 5 – rotary drum speed sensor; 6 – roller drum speed sensor; 7 – pulse shaper of rotary drum rotation; 8 – pulse shaper of roller rotation; 9 – output of a two-digit counter; 10, 11, 14, 15 – trigger; 12, 16 – start-stop multivibrator; 13 – two-digit counter; 17 – frequency comparator; 18 – electronic control unit; 19 – electro-hydraulic amplifier; 20 – tachometer; ЭБУ – electronic control unit, ЭГУ – electronic hydraulic amplifier

ry drum, the pulse frequencies at the outputs of sensors 5 and 6 are equal to each other. The outputs of the pulse shapers 7 and 8 record pulses, normalized in amplitude and duration. In case of equal periods of pulse repetition, the level of logic zero is preserved, and the electronic control unit operates in the mode established before the operation. There is no voltage at the input of the electronic control unit. If the established relationship between the pulse frequencies on the rotary drum and the supporting element is violated, the voltage is applied to the ECU, it amplifies it and transmits to the EGU (Fig. 2), which through the choke begins to affect the change in fluid flow in the motor hydraulic circuit, by increasing or decreasing the rotational speed of the output shaft.

As an example, let us consider the operation of a two-stage hydroelectric distributor EGU incorporating an electromechanical converter, where the electrical signal is converted into mechanical energy (shaft rotation, magnet pusher moving) using a hydraulic power amplifier [12-14].

The EGU consists of two slide-type hydraulic distributors, slide valves, two pairs of centering springs 3 and 6 (controlled from electromagnets EM-1 and EM-2) with hydraulic control. The first stage serves to

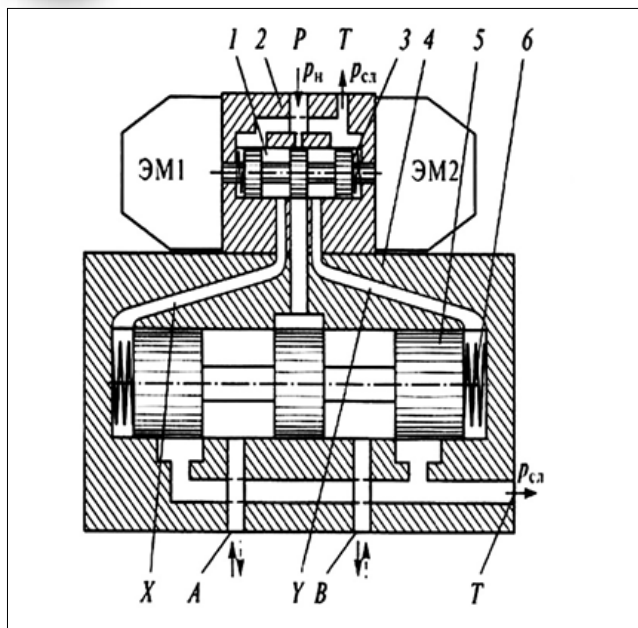


Fig. 2. Two-stage hydraulic valve with electrohydraulic control: 1, 5 – slide valves; 2 – the casing of the first-stage distributor; 3, 6 – centering springs; 4 – distributor case of the second stage; R, T, A, B – connecting holes; X, Y – outlet openings of the first-stage distributor; ЭМ-1, ЭМ-2 – electromagnets

pre-amplify the power of the input control signal. In this device, an electrical signal is fed to the input, and the output presents the working fluid changed in pressure or flow rate. The magnitude of these changes is proportional to the input power. The end cavities of

the second-stage distributor are connected with channels X and Y to the outlet openings of the first-stage distributor.

In the absence of an electrical control signal, the slides of both valves under the action of end springs are in the middle (neutral) positions. At the same time, slide valve 1 connects the end faces of the second-stage distributor with the discharge unit, and slide valve 5 overlaps all flow sections.

When a signal arrives, for example, on the electromagnet EM-1, slide valve 1 is shifted all the way to the right, so that the first-stage distributor switches in such a way that the fluid flow under pressure enters the left end valve of the second-stage hydraulic distributor through the channel X, and the right end cavity is connected to the discharge unit through the channel Y. A pressure differential is observed at the ends of slide valve 5, under the action of which it is displaced to the right and pushes the main hydraulic valve. This connects the hydraulic lines P with A, and B with T.

When a control signal arrives at the input of the EM-2 electromagnet, slide valves 7 and 5 move to the left, so that the control valve switches to position II. At the same time, the hydraulic line P is connected with B, and A with T.

**CONCLUSIONS.** As a result of the research, a schematic diagram of an automated hydraulic drive for a rotary garden cultivator has been developed. The cultivator is capable of tracking and, if necessary, adjusting the rotary drum speed.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Зволинский В.Н. Результаты и основные направления работ по фрезерным почвообрабатывающим машинам // *Тракторы и сельхозмашины*. 1978. №1. С. 10-11.
- Елизаров В.П., Артюшин А.А., Ценч Ю.С. Перспективные направления развития отечественной сельскохозяйственной техники // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. №2 (31). С. 12-18.
- Зволинский В.Н., Инаекян С.А. Пути совершенствования конструкций ротационных почвообрабатывающих машин // *Обзорная информация*. М. ЦНИИТЭИ Тракторосельхозмаш. 1984. Вып. 10. С. 161.
- Измайлов А.Ю., Хорошенков В.К., Колесникова В.А., Алексеев И.С., Лонин С.Э., Гончаров Н.Т. Средства автоматизации для управления сельскохозяйственной техникой // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. Т. 11. №3. С. 3-8.
- Лобачевский Я.П. Современные почвообрабатывающие технологии. М.: МГАУ им. В.П. Горячкина. 1999. 39 с.
- Измайлов А.Ю., Хорошенков В.К. Автоматизированные информационные технологии в производственных процессах растениеводства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2010. Т. 4. №4. С. 3-9.
- Зволинский В.Н., Мосяков М.А., Николаенко Н.Ю. Роль почвенного канала при изучении процессов в системе «рабочий орган – почва» // *Тракторы и сельхозмашины*. 2016. №1. С. 36-40.
- Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Смирнов И.Г., Хорт Д.О. Актуальные проблемы создания новых машин для промышленного садоводства // *Сельскохозяйственные машины и технологии* 2013. №3. С. 20-23.
- Измайлов А.Ю., Сидоров С.А., Лобачевский Я.П., Хорошенков В.К., Кудря А.В. Повышение технических характеристик рабочих органов сельскохозяйственных машин // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2016. №4. С. 58-60.
- Лобачевский Я.П., Смирнов И.Г., Юрин А.Н., Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Романюк Н.Н. Приоритетные технические средства для закладки и возделывания многолетних насаждений в садоводстве и питомниководстве России и Беларуси // *Техника и оборудование для села*. 2016. №10. С. 16-20.
- Sidorov S.A., Lobachevskii Y.P., Khoroshenkov V.K., Akhmedova T.S., Vorob'ev D.A. Ear and breakage resistance of hard alloy coatings strengthened with Tungsten carbide // *Metallurgist*. 2018. Т. 61. №11-12. С. 1023-1028.



12. Демидов В.Г., Зволинский В.Н. Пути повышения надежности работы привода почвообрабатывающей фрезы // Повышение агротехнических показателей, технического уровня и качества сельскохозяйственных машин для зоны орошаемого земледелия. Ташкент. 1984. С. 42-47.

13. Гамынин Н.С. Основы следящего гидравлического привода. М.: Оборонгиз. 1962. 293 с.

14. Завражнов А.А., Завражнов А.И., Лобачевский Я.П. Реинжиниринг в производстве техники для садоводства // *Тракторы и сельхозмашины*. 2011. №9. С. 5-10.

## REFERENCES

1. Zvolinsky V.N. Results and main directions of work on milling tillage machines. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 1978. N11. 10-11 (In Russian).

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

3. Zvolinsky V.N., Inaekyan S.A. Ways to improve the designs of rotary till-ers. Overview information. Moscow. TSNIITEI Tractorosel'hoz mash. 1984. Iss. 10. 161 (In Russian).

4. Izmaylov A.Yu., Khoroshenkov V.K., Kolesnikova V.A., Alekseev I.S., Lonin S.E., Goncharov N.T. Automation tools for agricultural management technology. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2017. Vol. 11. N3. 3-8 (In Russian).

5. Lobachevsky Ya.P. Modern tillage technology. Moscow. MSAU them. V.P. Goryachkina. 1999. 39 (In Russian).

6. Izmaylov A.Yu., Horoshenkov V.K. Automated information technologies in crop production. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2010. Vol. 4. N4. 3-9 (In Russian).

7. Zvolinsky V.N., Mosyakov M.A., Nikolayenko N.Yu. The role of the soil channel when studying the processes in the system "working organ – soil". *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2016. N1. 36-40 (In Russian).

8. Izmailov A.Yu., Lobachevsky Ya.P., Smirnov I.G., Hort D.O. Actual problems of creating new machines for industrial gardening. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2013. Vol. 7. N3. 20-23 (In Russian).

9. Izmailov A. Yu., Sidorov S.A., Lobachevsky Y.P., Khoroshenkov V.K., Kudrya A.V. Increasing the technical characteristics of the agricultural working military vehicles. *Vestnik Rossijskoj sel'skohozyaystvennoj nauki*. 2016. N4. 58-60 (In Russian).

10. Lobachevskiy Ya.P., Smirnov I.G., Yurin A.N., Hort D.O., Filippov R.A., Romanyuk N.N. Prioritetnye tekhnicheskie sredstva dlya zakladki i vozdevlyaniya mnogoletnih nasazhdeniy v sadovodstve i potomnikovodstve Rossii i Belarusi [Priority technical means for laying and cultivation of perennial plantings in gardening and posterity of Russia and Belarus]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2016. N10. 16-20 (In Russian).

11. Sidorov S.A., Lobachevskii Y.P., Khoroshenkov V.K., Akhmedova T.S., Vorob'ev D.A. Ear and breakage resistance of hard alloy coatings strengthened with Tungsten carbide. *Metallurgist*. 2018. Vol. 61. N11-12. 1023-1028.

12. Demidov V.G., Zvolinsky V.N. Ways to improve the reliability of the drive of the tiller. Increase of agrotechnical indicators, technical level and quality of agricultural machines for the zone of irrigated agriculture. Tashkent. 1984. 42-47 (In Uzbek).

13. Gamynin N.S. Basics of hydraulic servo drive. Moscow. Oborongiz. 1962. 293 (In Russian).

14. Zavrazhnov A.A., Zavrazhnov A.I., Lobachevskiy Ya.P. Reinzhiniring v proizvodstve tekhniki dlya sadovodstva [Reengineering in the production of gardening equipment]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2011. N9. 5-10 (In Russian).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 09.10.2018  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 09.10.2018

Статья принята к публикации 04.12.2018  
The paper was accepted  
for publication on 04.12.2018



## Контейнерная поточно-транспортная технология подготовки селекционного зерна

**Михаил Львович Крюков,**  
ведущий специалист;  
**Виктор Кириллович Пышкин,**  
кандидат технических наук,  
ведущий научный сотрудник;  
**Андрей Сергеевич Чулков,**  
кандидат технических наук, ведущий научный  
сотрудник, e-mail: andrei.chulkov@mail.ru;

**Светлана Викторовна Власова,**  
лаборант;  
**Максим Викторович Иванов,**  
инженер;  
**Кирилл Александрович Степанов,**  
инженер

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

**Реферат.** Низкий уровень механизации – одна из главных причин высоких затрат в селекции и первичном семеноводстве. Селекционеры бессистемно пользуются транспортными и погрузочными средствами для перевозки семенного материала. *(Цель исследования)* Разработать технологию транспортного обеспечения в селекции и семеноводстве, включающую в себя все транспортно-погрузочные процессы доставки семян зерновых культур от селекционных комбайнов до хранилищ с использованием контейнера для сбора, транспортировки, сушки и хранения семян. *(Материалы и методы)* Описали контейнерную поточно-транспортную технологию заготовки селекционного зерна на этапе первичного размножения. Разработали машинный комплекс технологии и базу данных уборочных и транспортных машин для сбора, транспортировки, сушки и хранения семян. *(Результаты и обсуждение)* Определили типаж транспортных и погрузочных средств при контейнерном способе уборки, транспортирования и хранения семян, рекомендуемых для применения в селекции и семеноводстве. Отличие типажа по новизне представили четырьмя позициями: возможность перевозить контейнеры в 2 ряда; увеличение высоты погрузки с 2 до 3 м; наибольший вылет стрелы достигает 3,8 м (против 2,7 м); грузоподъемность выше на 460 кг. *(Выводы)* Рекомендовали использовать разработанную методику для совершенствования технологического процесса уборки, транспортировки и послеуборочной обработки семенного зерна, организации этого процесса, а также выбора параметров средств и технической оснащенности в хозяйствах Центрального региона России. Предложили разработать и изготовить опытные образцы контейнеров и погрузчика с кантователем контейнеров для первичной переработки урожая.

**Ключевые слова:** транспортное обеспечение, селекция, семеноводство, селекционный комбайн, контейнерный способ уборки семян, транспорт, погрузчики, технологические процессы.

**■ Для цитирования:** Крюков М.Л., Пышкин В.К., Чулков А.С., Власова С.В., Иванов М.В., Степанов К.А. Контейнерная поточно-транспортная технология подготовки селекционного зерна // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №6. С. 20-24. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-6-20-24

## Container Flow-Transport Technology of Selection Grain Production

**Mikhail L. Kryukov,**  
key expert;  
**Viktor K. Pyshkin,**  
Ph.D.(Eng.), key research engineer;  
**Andrey S. Chulkov,**  
Ph.D.(Eng.), key research engineer,  
e-mail: andrei.chulkov@mail.ru;

**Svetlana V. Vlasova,**  
laboratory assistant;  
**Maksim V. Ivanov,**  
engineer;  
**Kirill A. Stepanov,**  
engineer

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

**Abstract.** Low-level mechanization is one of the main reasons for the high costs in selection and primary seed production.

Crop breeders use transport and loading facilities for seed material transporting in an unsystematic manner. (*Research purpose*) Development of technology of transport support in selection and seed production, including all transport and loading processes of the delivery of grain seeds from selection combines to storage facilities using containers for seed collection, transportation, drying, and storage. (*Materials and methods*) The authors have described a container flow-transport technology of selection grain harvesting at the stage of primary reproduction and developed a machine complex technology and a database of harvesting and transport machines for seed collection, transportation, drying, and storage. (*Results and discussion*) The authors have determined the type of transport and loading means for the container method of seed harvesting, transportation and storage recommended for use in selection and seed production. There are four distinctive novelty positions of the presented type: the ability to transport containers in 2 rows; increased loading height from 2 m to 3 m; maximum operating radius reaches 3.8 m (vs. 2.7 m); increased cargo capacity – by 460 kg. (*Conclusions*) The authors suggest using the developed methodology to improve the technological process of harvesting, transportation and post-harvest processing of seed grain, organize this process, as well as select machine parameters and technical equipment on the farms of the Central region of Russia. It has been suggested that test prototypes of containers and a loader with a container tilter should be designed and manufactured for use in primary crop processing.

**Keywords:** transport support (logistics), selection, seed production, selection combine, container method of seed harvesting, transport, loaders, technological processes.

**■ For citation:** Kryukov M.L., Pyshkin V.K., Chulkov A.S., Vlasova S.V., Ivanov M.V., Stepanov K.A. Konteynernaya potочно-transportnaya tekhnologiya podgotovki selektsionnogo zerna [Container flow-transport technology of selection grain production]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. N6. 20-24. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-6-20-24 (In Russian).

**В**ысококачественные семена – самый низкозатратный фактор увеличения производства сельскохозяйственной продукции. В России ежегодная потребность в семенах зерновых культур составляет 620-630 тыс. т, из которых к основному фонду относятся 330 тыс., страховому фонду – 90 тыс., переходящему – 100 тыс., а 110 тыс. т озимых предназначены для осеннего сева.

Высокие затраты связаны в основном с низким уровнем механизации селекции и первичного семеноводства [1, 2]. Незрелость же убранных семян обусловлена нарушением агротехнических сроков. В подавляющем большинстве отклонения от установленных сроков предопределены совокупностью вышеупомянутого бессистемного подхода селекционеров к выбору технических средств и материальной ограниченности в их выборе. Так, в селекционном хозяйстве Института семеноводства и агротехнологий в Рязанской области на этапе первичного размножения для 9 сортов зерновых культур задействованы только два селекционно-семеноводческих комбайна (*Acros 530* и *Niva Rostselmash* выпуска 2008 г. и 2013 г. соответственно) и 3 транспортных средства (МТЗ-82, МТЗ-1221) оборудованные тракторными прицепами 2ПТС-4. По данным метеорологических наблюдений, в июне-августе 2018 г. осадки выпадали 29 календарных дней. В это время уборочные работы приостанавливают, возобновляя их только после одного-двух дней сухой погоды для снижения влажности посевов до 16%, поскольку использование сушильных установок нерентабельно. Низкая оснащенность хозяйств техническими средствами частично компенсиру-

ется ручным трудом, доля которого на операциях затаривания достигает 59%. При непостоянном и неопределенном по времени функциональном цикле уборочно-транспортной системы временные потери составляют 45%.

Таким образом, недобор зерна оборачивается необходимостью создания страховых запасов от недоучета продукта, доходящих до 33% от расчетной прибыли; низкая и бессистемная оснащенность техническими средствами вызывает нарушение бесперебойности функционального цикла и его неопределенность (непроектируемость), что также вынуждает создавать страховые запасы из-за высокой доли ручного труда – от 25 до 59%. Поэтому вопросы бесперебойного и рентабельного движения материальных потоков уборочно-транспортной системы в селекции и первичном семеноводстве сельскохозяйственных культур становятся все актуальнее [2, 3].

Разработка научных основ механизации производственных процессов в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве начата более 20 лет назад, когда впервые в систему машин для комплексной механизации сельскохозяйственного производства на 1971-1975 гг. были включены 43 наименования селекционных машин. В системе машин на 1986-1995 гг. число наименований возросло уже до 203. Хотя в дальнейшем такую работу не проводили, селекционеры пользуются этими разработками, соответственно внося изменения для улучшения селекционной техники. К сожалению, в проведенных работах отсутствует транспортно-перевозочная составляющая, поэтому селекционеры



бессистемно используют транспортные и погрузочные средства, необходимые в нужный момент.

**Цель исследования** – разработать технологию транспортного обеспечения в селекции и семеноводстве, включающую все транспортно-погрузочные процессы доставки семян зерновых культур от селекционных комбайнов до хранилищ с использованием контейнера для сбора, транспортировки, сушки и хранения семян.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** Технология учитывает все транспортно-погрузочные процессы доставки семян зерновых культур от селекционных комбайнов до хранилища с использованием контейнеров для сбора, транспортировки и сушки семян. Разработаны машинный комплекс технологии и база данных уборочных и транспортных машин.

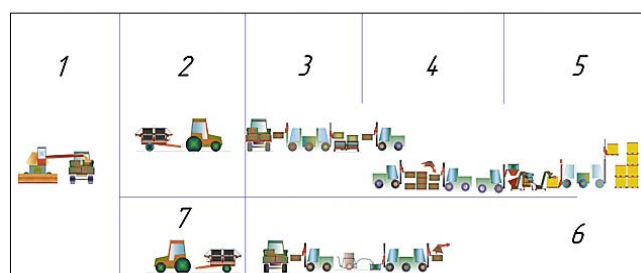


Рис. Контейнерная поточно-транспортная технология заготовки селекционного зерна на этапе первичного размножения

Fig. Container flow - transport technology of harvesting of breeding grain at the stage of primary reproduction

Технологический процесс вывоза зерна от селекционного комбайна к месту сушки включает несколько последовательных операций (рисунки).

*На первом этапе:*

- загрузку контейнеров КСТм-0,5 в поле от комбайна в контейнеровоз путем сдвигания вручную телескопической площадки с установленными на ней контейнерами вперед по ходу движения трактора на величину, равную половине длины кузова; ремни крепления контейнеров верхнего ряда следует предварительно отстегнуть;

- загрузку комбайном задних контейнеров нижнего ряда, сдвигание телескопической площадки с установленными на ней контейнерами назад на величину, равную половине кузова;

- загрузку комбайном передних контейнеров нижнего ряда, установку телескопической площадки с расставленными на ней пустыми контейнерами в исходное положение и закрепление ее к бортам кузова;

- загрузку комбайном пустых контейнеров верхнего ряда;

- закрепление груженых контейнеров верхнего ряда ремнями к бортам кузова.

*На втором этапе* происходит транспортировка зерна от комбайна.

*На третьем* – вилочный погрузчик перемещает контейнеры с зерном с контейнеровоза на модульную контейнерную сушилку МКС.

*На четвертом* – контейнеры снимают с сушилки и устанавливают в штабель на площадку хранения и вентиляции ПХВ перед сортировальной машиной.

*На пятом* – контейнер с высушенным зерном перемещают с площадки хранения и вентиляции, опрокидывают его при загрузке приемного бункера, затем следуют сортировка, развесовка, затаривание контейнеров для хранения и установка их на площадку хранения и вентиляции.

Затем технологический процесс доставки пустых контейнеров со склада до селекционных комбайнов в поле включает еще две технологические операции:

- на шестом этапе – снятие с порожнего контейнера перегрузочной воронки, очистка его от прилипших остатков зерна и установка на контейнеровоз;

- на седьмом – транспортировка порожних контейнеров для заполнения зерном от комбайна.

Далее цикл повторяется.

Показатель эффективности *KPI* (Key Performance Indicators) характеризует минимизацию прямых эксплуатационных затрат  $I_{\text{э}}^i$  (руб./т)  $i$ -го технического средства уборочно-транспортного комплекса на весь объем работ  $B_i$ , т [2, 4-7]. Математически данный показатель выражается следующим образом:

$$C_i = B_i I_{\text{э}}^i \rightarrow \min. \quad (1)$$

Объем работ  $B_i$  определяется сменным оборотом материала  $Q_{\text{см}}^i$ , т, осуществленным достаточным количеством  $X_s$ , шт., за отведенный агротехнический срок  $T$ , дн., на этапах комбайнирования, транспортировки и сушки – именно эти основные параметры характеризуют уборочно-транспортный процесс.

$$C^i = \sum_{k,m,c} Q_{\text{см}}^i \cdot X_s \cdot T \cdot I_{\text{э}}^i \rightarrow \min. \quad (2)$$

Объемы взаимосвязанных работ должны быть выполнены синхронизировано. Тогда для общей рассматриваемой системы «комбайн – транспортное средство – сушилка» синхронизация объемов работ будет выглядеть следующим образом:

$$Q_{\text{см}}^k \cdot X_k \cdot T \leq Q_{\text{см}}^m \cdot X_m \cdot T \leq Q_{\text{см}}^c \cdot X_c \cdot T. \quad (3)$$

Необходимое количество технических средств на этапах комбайнирования, транспортировки и сушки в отведенные агротехнические сроки в общем виде можно записать как:

$$X_{k,T,c} = B_i / (W^{\text{ч}}_{\text{экс.к,т,с}} t_{\text{см.к,т,с}} T), \text{ шт.}, \quad (4)$$

где  $W^{\text{ч}}$  – эксплуатационная часовая производитель-



ность, т/ч;

$t$  – время смены, ч.

Состав машинного комплекса технологии [8-11]:

- зерноуборочный селекционный комбайн для уборки урожая и погрузки его в транспортное средство;

- трактор для транспортировки контейнеровоза;

- контейнеровоз для транспортирования груженых контейнеров от комбайна к месту хранения, а пустых контейнеров – от места хранения к комбайнам;

- контейнеры для перевозки зерна от селекционных комбайнов к месту сушки и одновременно тара, в которой сушится зерно;

- вилочный погрузчик-кантователь для установки на контейнеровоз со склада пустых контейнеров и доставки их к комбайну, для снятия с контейнеровоза и установки на контейнерную сушилку контейнеров с зерном, для снятия контейнеров с высушенным зерном с контейнерной сушилки и перегрузки зерна в контейнеры для хранения;

- сушилка контейнерная, предназначенная для сушки семян четвертого этапа селекционных работ;

- технический пылесос для очистки контейнеров от шелухи после сушки зерна;

- контейнер для хранения высушенных семян.

**Результаты и обсуждение.** Транспортные и погрузочные средства, применяемые в селекции и семеноводстве, предназначены для работы в складских помещениях, где проводится очистка, сушка семян и закладка на хранение.

Разработан типаж транспортных и погрузочных средств при контейнерном способе уборки, транспортирования и хранения семян, рекомендуемых для применения в области селекции и семеноводства.

В ООО «Автомобильный завод "ГАЗ"» для этой цели созданы малотоннажные автомобили сельскохозяйственного назначения.

Отличие типажа по новизне представлено четырьмя позициями:

- тракторный полуприцеп 1ПТС-2,5 (шифр РСА 1.2.01) отличается от включенного в типаж транспортного средства (шифр РС 1.2.01) тем, что он приспособлен перевозить контейнеры в два ряда;

- вилочный электропогрузчик ЭП-103 (шифр РСА 1.2.02) представляет собой аналог погрузочно-разгрузочного средства, включенного в типаж (шифр РС 1.2.02), отличается большей высотой погрузки (3 м против 2 м);

- автомобиль ГАЗ-3302 с гидроманипулятором (шифр РСА 1.2.04) служит аналогом грузового автомобиля с гидроманипулятором (шифр РС 1.2.04), отличается более длинным вылетом стрелы (3,8 против 2,7 м);

- автомобиль-самосвал ГАЗ-САЗ-25061-10 (шифр РСА 1.2.05) – это аналог автомобиля-самосвала 4×4 полной массой 6 т (шифр РС 1.2.05), включенного в типаж, и отличается большей грузоподъемностью – на 460 кг.

Предложенные транспортные средства включены в технологию транспортного обеспечения работ в селекции и семеноводстве.

**Выводы.** Разработанная методика обоснования рациональной структуры уборочно-транспортной системы может быть использована для совершенствования технологического процесса уборки, транспортировки и послеуборочной обработки семенного зерна, организации этого процесса, а также выбора параметров средств и уровня технической оснащенности.

Созданные в процессе исследования технологические схемы сбора и транспортирования зерна с использованием контейнеров могут быть рекомендованы для применения в хозяйствах Центрального региона России.

Учитывая выявленную эффективность применения контейнеров и погрузчика с кантователем контейнеров при первичной переработке урожая, целесообразно разработать и изготовить их опытные образцы в целях широкой хозяйственной проверки.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Евтюшенков Н.Е., Крюков М.Л., Шилова Е.П., Владова С.В. Технология и техника для уборки транспортировки зерна в селекции и первичном семеноводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2016. Т. 10. №5. С. 30-35.
2. Елизаров В.П., Евтюшенков Н.Е., Крюков М.Л., Рожин В.Ф. Техника для селекции и семеноводства // *Сельский механизатор*. 2016. №5. С. 18-19.
3. Домрачев В.А., Шевченко А.П. Разработка научных основ механизации селекционно-опытного дела // *Достижения науки и техники АПК*. 2008. №12. С. 51-52.
4. Измайлов А.Ю. Использование системы сменных кузовов при уборке сельскохозяйственной продукции // *Техника и оборудование для села*. 2006. №12. С. 26-28.
5. Чулков А.С., Шилова Е.П. Математическая модель расчета производительности и количества транспортных средств в уборочно-транспортном комплексе на перевозке зерна от комбайна // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2011. Т. 5. №6. С. 42-45.
6. Бисенов Г.С. Технологии перевозки зерна // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2012. Т. 6. №6. С. 11-16.

7. Чулков А.С. Эффективность уборки зерновых культур с применением сменных кузовов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2013. Т. 7. N4. С. 24-25.
8. Степанов К.А. Обоснование параметров контейнеризации процессов уборки, переработки и хранения семян на III и IV этапах селекции и первичного семеноводства на примере ФГБНУ Рязанский НИИСХ // *Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт*. 2018. N9. С. 15-20.
9. Измайлов А.Ю., Евтюшенков Н.Е. Автотранспорт

для перевозки сельскохозяйственных грузов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2011. Т. 5. N2. С. 19-22.

10. Калинин Г.А., Чулков А.С. Экономическая эффективность уборочно-транспортного процесса при перевозке зерна сменными кузовами // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2011. Т. 5. N4. С. 38-39.
11. Измайлов А.Ю., Евтюшенков Н.Е. Эффективность новых транспортных технологий в АПК // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2009. N2. С. 32-37.

## REFERENCES

1. Yevtyushenkov N.Ye., Kryukov M.L., Shilova Ye.P., Vlasova S.V. Tekhnologiya i tekhnika dlya uborki transportirovki zerna v selektsii i pervichnom semenovodstve [Technology and equipment for grain harvesting and transportation in selection and primary seed production]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2016. Vol. 10. N5. 30-35 (In Russian).
2. Elizarov V.P., Evtyushenkov N.E., Kryukov M.L., Rozhin V.F. Tekhnika dlya selektsii i semenovodstva [Machinery and equipment for selection and seed production]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2016. N5. 18-19 (In Russian).
3. Domracheev V.A., Shevchenko A.P. Razrabotka nauchnykh osnov mekhanizatsii selektsionno-opytного dela [Developing scientific fundamentals of the mechanization of selection and experimental work]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2008. N12. 51-52 (In Russian).
4. Izmaylov A.Yu. Ispol'zovanie sistemy smennykh kuzovov pri uborke sel'skokhozyaystvennoy produktsii [Using a system of interchangeable bodies for farm crop harvesting]. *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela*. 2006. N12. 26-28 (In Russian).
5. Chulkov A.S., Shilova E.P. Matematicheskaya model' rascheta proizvoditel'nosti i kolichstva transportnykh sredstv v uborochno-transportnom komplekse na перевозке зерна от комбайна [Mathematical model for calculating the performance and the number of vehicles in a harvest-and-transportation complex for grain transportation from a combine]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2011. Vol. 5. N6. 42-45 (In Russian).
6. Bisenov G.S. Tekhnologii perevozki zerna [Grain transportation technologies]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2012. Vol. 6. N6. 11-16 (In Russian).
7. Chulkov A.S. Effektivnost' uborki zernovykh kul'tur s primeneniym smennykh kuzovov [Efficiency of grain crop harvesting with the use of changeable bodies]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2013. Vol. 7. N4. 24-25 (In Russian).
8. Stepanov K.A. Obosnovaniye parametrov konteynerizatsii protsessov uborki, pererabotki i khraneniya semyan na III i IV etapakh selektsii i pervichnogo semenovodstva na primere FGBNU Ryazanskiy NIISKh [Determination of the containerization parameters for harvesting, processing and storage of seeds at the III and IV selection and primary seed production stages as exemplified by Ryazan Research Institute for Agriculture]. *Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivaniye i remont*. 2018. N9. 15-20 (In Russian).
9. Izmaylov A.Yu., Evtyushenkov N.E. Avtotransport dlya perevozki sel'skokhozyaystvennykh грузов [Automobile transport for transportation works in agriculture]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2011. N2. 19-22 (In Russian).
10. Kalinkin G.A., Chulkov A.S. Ekonomicheskaya effektivnost' uborochno-transportnogo protsessа pri перевозке зерна smennymi kuzovami [Economic efficiency of harvest-and-transport works in grain transportation by interchangeable bodies]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2011. Vol. 5. N4. 38-39 (In Russian).
11. Izmaylov A.Yu., Evtyushenkov N.E. Effektivnost' novykh transportnykh tekhnologiy v APK [Efficiency of new transport technologies in agriculture]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2009. Vol. 3. N2. 32-37 (In Russian).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 15.11.2018  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 15.11.2018

Статья принята к публикации 30.11.2018  
The paper was accepted  
for publication on 30.11.2018



## Исследования комбинированных режимов СВЧ-сушки зерна

**Сергей Анатольевич Павлов,**  
кандидат технических наук,  
ведущий научный сотрудник,  
e-mail: vim@vim.ru;

**Игорь Анатольевич Пехальский,**  
кандидат технических наук,  
ведущий научный сотрудник;  
**Николай Георгиевич Кынев,**  
старший научный сотрудник

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

**Реферат.** Для обеспечения высокого качества высушиваемых материалов одним из перспективных способов обезвоживания растительного сырья является способ сушки под действием электромагнитного излучения сверхвысокой частоты (СВЧ-сушка). СВЧ-сушку широко используют в различных областях промышленности, в частности, в пищевой и деревообрабатывающей. (*Цель исследования*) Рассчитать длительность СВЧ-импульса, паузы; экспериментально определить их, а также величину влагосъема при импульсе и глубину проникновения его в слой. (*Материалы и методы*) При сушке в СВЧ-поле градиент влагосодержания в материале препятствует движению влаги к поверхности, возможно также образование внутренних трещин. Поэтому лучшие результаты дают комбинированные методы сушки. Рассчитали длительность импульса по допустимому приращению температуры зерна, длительность паузы определили из предположения, что при импульсе влага из ядра зерновки выталкивается наружу, и ее охлаждение происходит в изотермических условиях потоком воздуха. (*Результаты и обсуждение*) Подтвердили, что при длительности импульса СВЧ-энергии 4, 6 и 10 с, скорость обдува и продувки слоя наружным воздухом составляла 0,5 м в секунду. При охлаждении зерна естественной конвекцией время импульса – 10 с, время паузы – 1, 2, 3 и 5 мин. Для режима с обдувом время воздействия импульсом составило 6 и 10 с, обдува – 0,5; 1,0 и 1,5 мин. Максимальную длительность СВЧ-импульса определили плотностью потока допустимой теплоты нагрева зерна и долей теплоты, пошедшей на испарение влаги при нагреве до 20-25 градусов. (*Выводы*) Длительность паузы определяется временем охлаждения зерна до температуры, предшествующей импульсу. Экспериментально подтвердили расчетные значения длительности импульса и паузы с погрешностью 15 процентов на зерне влажностью 20-24 процента при плотности СВЧ-потока 0,7 кВт на квадратный метр; глубина проникновения в зерновку 70 процентов СВЧ-энергии выше 20-22 мм, а влагосъем – 0,1-0,15 процента.

**Ключевые слова:** СВЧ-сушка, зерно, зернобобовые, режимы, длительности импульса и паузы.

■ **Для цитирования:** Павлов С.А., Пехальский И.А., Кынев Н.Г. Исследования комбинированных режимов СВЧ-сушки зерна // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №6. С. 25-30. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-6-25-30

## Studies of the Combined Modes of Microwave Grain Drying

**Sergey A. Pavlov,**  
Ph.D.(Eng.), key research engineer,  
e-mail: vim@vim.ru;

**Igor A. Pekhalsky,**  
Ph.D.(Eng.), key research engineer;  
**Nikolay G. Kynev,**  
senior research engineer

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

**Abstract.** To ensure the high quality of the materials being dried, one of the most promising ways to dehydrate vegetable raw materials is drying under the action of electromagnetic radiation (microwave drying). Microwave drying is widely used in various industries, in particular, in the food and woodworking industries. (*Research purpose*) Calculation of the microwave pulse and pause duration; their experimental determination, as well as the determination of the moisture removal rate at the pulse moment and the depth of pulse penetration into the layer. (*Materials and methods*) When drying in a microwave field, the gradient of moisture content in the material prevents the moisture movement towards the surface, internal cracks can be formed as well. Therefore, the combined methods of drying can yield the best results. The pulse duration has been

calculated by the permissible increment of the grain temperature, the pause duration has been determined by assuming that during the pulse, moisture from the caryopsis kernel is pushed out and cooled under isothermal conditions by an air flow. (*Results and discussion*) It has been confirmed that at a microwave pulse energy duration of 4, 6, and 10 s, the speed of blow-off and blowdown of the layer with external air was 0.5 m per second. When grain is cooled by natural convection, the pulse time is 10 s, the pause time is 1, 2, 3, and 5 min. For the blow-off mode, the pulse exposure time was 6 and 10 s, that of blow-off - 0.5, 1.0, and 1.5 minutes. The maximum duration of the microwave pulse was determined by the flow density of allowable grain heating and the fraction of heat required for the evaporation of moisture when heated to 20-25 degrees. (*Conclusions*) The pause duration is determined by the grain cooling time to the temperature preceding the pulse. It has been experimentally established that the calculated values of the pulse and pause duration with an accuracy of 15 percent for grain with a moisture content of 20-24 percent at a microwave flow density of 0.7 kilowatts per square meter, at a depth of the microwave energy penetration into the grain by 70 percent, do not exceed 20-22 mm, and the moisture removal rate is 0.1-0.15 percent.

**Keywords:** microwave drying, grain, leguminous crops, modes, pulse and pause duration.

■ **For citation:** Pavlov S.A., Pekhal'skiy I.A., Kynev N.G. Issledovaniya kombinirovannykh rezhimov SVCh-sushki zerna [Studies of the combined modes of microwave grain drying]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. N6. 25-30. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-6-25-30 (In Russian).

Для обеспечения высокого качества высушиваемых материалов одним из перспективных способов обезвоживания растительного сырья служит способ сушки на основе воздействия электромагнитного излучения сверхвысокой частоты (СВЧ). СВЧ-сушка достаточно широко используется в различных областях промышленности, в частности, в пищевой и деревообрабатывающей. Однако для сушки растительного сырья этот метод не получил широкого распространения [1-4].

Работа известных СВЧ-сушилок носит характер периодического действия. Сушилки непрерывного действия характеризуются локальным перегревом сырья, созданием объемно-напряженного деформированного состояния с растрескиванием материала и невысокой энергетической эффективностью процесса. Это обусловлено недостаточной взаимосвязанностью технологических режимов с кинетическими закономерностями сушки конкретных материалов [5, 6]. Продолжительность электромагнитного СВЧ-воздействия на высушиваемый материал и паузы, во время которой его охлаждают, отличается в несколько раз. Удельные затраты тепла на единицу готового продукта – в 2-3 раза и более [7]. Эти технологические параметры определяют не только качество продукта, но и производительность установки, а также энергозатраты на сушку.

Отличительная особенность воздействия СВЧ-энергии на высушиваемый продукт – равномерность внутреннего нагрева и выделение теплоты во всем объеме влажного продукта, что способствует однородности прогрева сырья, снижению напряженно-деформированного состояния материала и, как следствие, улучшению органолептических показателей качества готового продукта.

Анализ процессов СВЧ-сушки показал, что хо-

тя при данной сушке используют импульсные режимы, в том числе с обдувкой и продувкой слоя наружным воздухом, но неизвестно время действия СВЧ-импульса и паузы, при которой происходит охлаждение зерна, [8].

**Цель исследования** – рассчитать длительность СВЧ-импульса и паузы; экспериментально определить эти параметры, а также величины влагосъема и глубины проникновения импульса в слой.

**Материалы и методы.** Кинетика сушки токами высокой и сверхвысокой частоты существенно не отличается от кинетики конвективной сушки. В начале процесса материал быстро нагревается, скорость сушки возрастает, затем наступает период постоянной скорости, характеризующийся постоянством температуры и падающей скоростью испарения. Соотношение периодов постоянной и убывающей скоростей сушки определяется только формами и видами связи влаги с исследованными материалами. Известно, что чрезмерное увеличение подводимой СВЧ-мощности способствует возникновению большого градиента влагосодержания, и как следствие, образованию трещин и нарушению структуры готового продукта.

В зависимости от электрофизических, теплофизических и режимных параметров процесса температура материала может меняться в широких пределах [5]. При сушке в СВЧ-поле градиент влагосодержания в материале препятствует движению влаги к поверхности, кроме того, велика вероятность образования внутренних трещин. Поэтому с точки зрения технологии лучшие результаты дают комбинированные методы сушки [3, 8]. Рассмотрим комбинированную сушку, при которой нагрев зерна осуществляется СВЧ-энергией, а пары влаги удаляются путем продувки наружным воздухом.

Поток тепла к зерну при импульсе можно записать:

$$Q = \frac{\Delta U r G \eta}{\Delta \tau}, \text{ Вт}, \quad (1)$$

где  $Q$  – плотность СВЧ-потока, кВт/м<sup>2</sup>;

$\Delta U$  – влагосъем, кг вл/кг сух. мат;

$r$  – удельная теплота испарения влаги, кДж/кг;

$G$  – масса материала, кг;

$\eta$  – доля теплоты, пошедшая на испарение влаги;

$\Delta \tau$  – время, ч.

Допустимое теплоснабжение семян, при котором не превышена предельно допустимая температура, составляет [9]:

$$Q_{\text{п}} = 98,5 \text{ кДж/кг}.$$

Его величина определяется уравнением:

$$Q_{\text{п}} = c \Delta T, \text{ кДж/кг}, \quad (2)$$

где  $c$  – теплоемкость зерна, кДж/кг °С;

$\Delta T$  – предельно допустимое приращение температуры при нагреве, °С.

Принимая во внимание, что при сушке зерна  $\Delta U_{\text{г}} = Q_{\text{п}}$ , запишем выражение (1) в виде:

$$Q = \frac{c \Delta T f_o \eta}{f \Delta \tau}, \text{ Вт/м}^2, \quad (3)$$

где  $f$ ,  $f_o$  – удельная поверхность зерна и поверхность воздействия СВЧ-потока на зерно, м<sup>2</sup>/кг.

Для облучения элементарного слоя зерна высотой  $h_i$ , когда поверхность облучения равна теплообменной поверхности, продолжительность воздействия СВЧ-потока, при котором не будет превышен предельно допустимый нагрев, можно записать в виде:

$$\Delta t_i = \frac{c \Delta T \eta}{Q_o}, \text{ } ^\circ\text{С}, \quad (4)$$

где  $\Delta t_i$  – перепад температуры в экспериментальном слое;

$Q_o$  – удельная мощность СВЧ-потока, Вт/м<sup>2</sup>.

Для слоя высотой  $H$  запишем:

$$\Delta t = \frac{c \Delta T \eta H}{Q_o h_i}, \text{ } ^\circ\text{С}, \quad (5)$$

где  $\Delta t$  – перепад температуры;

$h_i$  – высота элементарного слоя, м.

Под действием импульса зерно нагревается до определенной температуры с незначительным испарением влаги, которая насыщает оболочку и выступает на поверхности зерновки, что способствует быстрому охлаждению ее при последующей продувке наружным или подогретым воздухом.

Подбирая длительность импульса и паузы, можно осуществить безопасную комбинированную

СВЧ-сушку зерна при неизменной температуре зерна.

Длительность паузы можно рассчитать из уравнения массоотдачи нагретого зерна при вентилировании для условия  $\varphi \approx \text{const}$  [10]:

$$\tau_{\text{п}} = \frac{R}{\beta} \ln \frac{\varphi_{\text{ср}} - \varphi_1}{\varphi_{\text{ср}} - \varphi_2}, \quad (6)$$

где  $R$  – радиус зерновки, м;

$\beta$  – коэффициент массоотдачи, м/с;

$\varphi_{\text{ср}}$ ,  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  – средняя относительная влажность паров влаги на поверхности зерновки после воздействия СВЧ-импульса, относительная влажность наружного (подогретого) и отходящего воздуха.

Величину  $\beta$  можно определить из [11]; а значения влажности – по формуле:

$$\varphi_{\text{ср}} = \frac{\varphi_o - \varphi_2}{2}, (\varphi_o = 1,0).$$

Для определения  $\Delta t$ ,  $\tau_{\text{п}}$  параметров кинетики комбинированной СВЧ-сушки проведем эксперимент.

Для сушки использовали увлажненные до 21–24% семена пшеницы и семена сои. Исследования проводили в СВЧ-установке со следующими техническими характеристиками: потребляемая мощность – 1500 Вт; выходная мощность – 1100 Вт; плотность потока – 0,7 кВт/м<sup>2</sup>, частота – 915 МГц.

Под вращающуюся тарелку в СВЧ-установке подведен источник СВЧ. На тарелку поместили стеклянный бокс с семенным слоем  $1,5 \pm 0,2$  см (рис. 1).

Длительность импульса СВЧ-энергии состав-

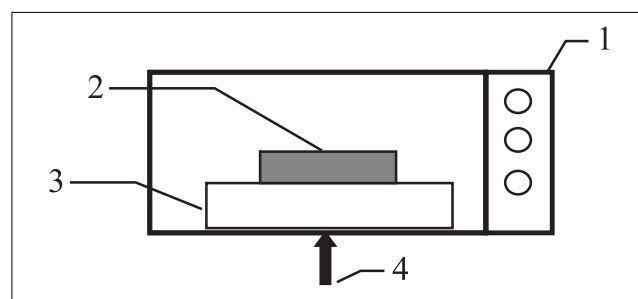


Рис. 1. Технологическая схема экспериментальной установки: 1 – корпус СВЧ; 2 – бокс; 3 – вращающаяся тарелка; 4 – СВЧ-поток

Fig. 1. Technological scheme of the experimental setup: 1 – body microwave; 2 – box; 3 – rotating plate; 4 – microwave stream

ляла 4, 6 и 10 с, скорость обдува и продувки слоя наружным воздухом – 0,5 м/с. При охлаждении зерна естественной конвекцией время импульса – 10 с, время паузы – 1, 2, 3 и 5 мин. Время обдува – 0,5; 1,0 и 1,5 мин. Для режима с продувкой слоя время воздействия импульса составило 4, 6 и 10 с, продувки – 20 и 40 с. Влажность семян определяли взвешиванием на лабораторных весах с погрешностью



$\pm 0,01$  г, температуру – инфракрасным термометром с погрешностью  $\pm 0,1^\circ\text{C}$ . Температура наружного воздуха в опытах составляла  $20^\circ\text{C}$ , относительная влажность – 60%.

После облучения определяли влажность зерна. Далее зерно охлаждали, либо выдерживая его на открытом воздухе, либо с помощью обдува. Периодически измеряли влажность и температуру зерна. В конце опыта определяли его конечную температуру и влажность. Затем отбирали пробы для определения всхожести зерна.

Обдували навеску в кассете горизонтальным потоком воздуха, продували сверху вниз в бунксе с решетчатым днищем. Исследовали режим комбинированной сушки с подогревом наружного воздуха до  $42^\circ\text{C}$  для сокращения длительности импульса. Исходные данные и результаты экспериментальных исследований приведены в таблице и на рисунках 2-4.

При СВЧ-сушке важное значение имеет правильный выбор толщины слоя. Чем больше толщина слоя, тем меньше глубина проникновения СВЧ-энергии и выше неравномерность сушки, что снижает качество продукта. Проведены эксперименты для определения оптимальной толщины слоя.

Радиопрозрачные бунксы, установленные один на другой, с высотой слоя зерна в каждом из них 10 мм, подвергали воздействию СВЧ-энергии в течение 10 с, а затем определяли влагосъем зерна в этих бунксах (рис. 4).

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** На основе тепловых балансов рассчитаны продолжительность СВЧ-импульса и паузы при охлаждении зерна наружным воздухом.

Установлено, что длительность импульса зависит от удельной мощности СВЧ-потока, допустимого тепла, которое могут воспринять семена (зерно) при нагреве, доли тепла, пошедшего на испарение влаги, и от высоты слоя. Для расчета длительности паузы, во время которой зерно охлаждается продувкой, можно использовать уравнение массоотдачи при  $\phi = \text{const}$ .

Оптимальный комбинированный режим СВЧ-сушки зерна – периодическое повышение его температуры на  $15\text{-}20^\circ\text{C}$  и снижение на эту же величину при продувке наружным воздухом, причем максимальная температура зерна не должна превышать предельно допустимую. Это обеспечивает сохранность качественных показателей зерна.

Доля тепла, пошедшего на испарение влаги при

| Исходные данные и результаты комбинированных режимов СВЧ-сушки<br>INITIAL DATA AND THE RESULTS OF COMBINED MODES OF MICROWAVE DRYING |                                                                                                                       |                                                          |                                       |                                                                                                                                           |                                                  |                              |                                            |                                             |                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Материал / Material                                                                                                                  | Режим<br>вентиляции<br>Ventilation mode                                                                               | Исходная влажность зерна, %<br>Initial grain moisture, % | Толщина слоя, м<br>Layer thickness, m | Коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт}/\text{м}^2\cdot^\circ\text{C}$<br>Heat transfer coefficient, $\text{W}/\text{m}^2\cdot^\circ\text{C}$ | Длительность<br>воздействия<br>Exposure duration |                              | Конечная влажность, %<br>Final humidity, % | Длительность сушки, мин<br>Drying time, min | Конечная температура зерна, $^\circ\text{C}$<br>Final temperature of grain, $^\circ\text{C}$ |
|                                                                                                                                      |                                                                                                                       |                                                          |                                       |                                                                                                                                           | СВЧ-импульс, с<br>Microwave pulse, s             | пауза мин, с<br>pause min, s |                                            |                                             |                                                                                              |
| Пшеница / Wheat                                                                                                                      | Естественная конвекция<br>Natural convection                                                                          | 21                                                       | 0,005-0,01                            | 3                                                                                                                                         | 6<br>6<br>6                                      | 0,5<br>3,0<br>5,0            | 16,3<br>15,8<br>15,7                       | 40                                          | 62<br>52<br>40                                                                               |
|                                                                                                                                      | Обдув наружным воздухом<br>Airflow by outside air                                                                     | 21                                                       | 0,005-0,01                            | 7                                                                                                                                         | 6                                                | 0,5<br>1,0<br>1,5            | 16,2<br>15,5<br>14,9                       | 15                                          | 56<br>50<br>48                                                                               |
|                                                                                                                                      | Продувка слоя:<br>наружным воздухом<br>подогретым воздухом*<br>Blowdown of the layer by:<br>outside air<br>heated air | 24<br>24                                                 | 0,005-0,01<br>0,005-0,01              | 20<br>20                                                                                                                                  | 6<br>6                                           | 20,0<br>20,0                 | 17,0<br>15,0                               | 7<br>7                                      | 53<br>65                                                                                     |
| Соя<br>Soybeans                                                                                                                      | Продувка наружным воздухом<br>Blowing outside air, soybeans                                                           | 20                                                       | 0,05-0,01                             | 20                                                                                                                                        | 6                                                | 20,0                         | 17,3                                       | 30                                          | 40                                                                                           |

\* температура подогретого воздуха –  $42^\circ\text{C}$

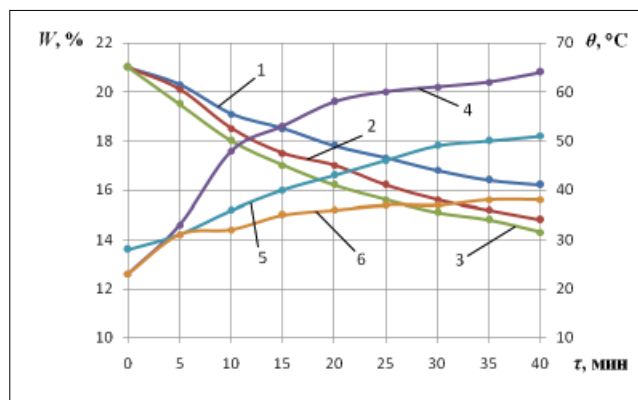


Рис. 2. Зависимость влажности  $W$  (1, 2, 3) и температуры  $\theta$  (4, 5, 6) от времени  $\tau$  сушки: время воздействия СВЧ-импульса – 10 с; пауза 0,5 мин (1, 4); 3 мин (2, 5); 5 мин (3, 6)  
Fig. 2. Humidity dependence  $W$  (1, 2, 3) and temperatures  $\theta$  (4, 5, 6) on the drying time  $\tau$ : the exposure time of the microwave pulse is 10 s; pause 0.5 min (1, 4); 3 min (2, 5); 5 min (3, 6)

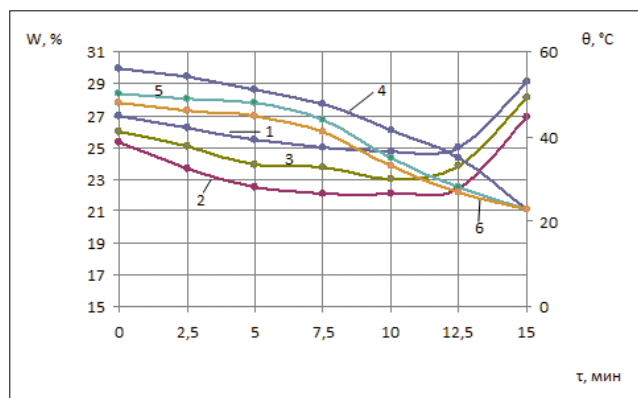


Рис. 3. Зависимость влажности  $W$  (1, 2, 3) и температуры  $\theta$  (4, 5, 6) от времени  $\tau$  сушки: время воздействия СВЧ-импульса – 10 с; обдув наружным воздухом – 0,5 мин (1, 4); – 1 мин (2, 5); – 1,5 мин (3, 6)  
Fig. 3. Dependence of humidity  $W$  (1, 2, 3) and temperature  $\theta$  (4, 5, 6) on drying time  $\tau$ : exposure time of microwave pulse – 10 s; outdoor air blowing – 0.5 min (1, 4); – 1 min (2, 5); – 1.5 min (3, 6)

СВЧ-нагреве, незначительна и не превышает 0,1–0,15, в то время как при конвективной сушке она составляет – 0,6–0,8, что обуславливает необходимость использования комбинированных режимов с промежуточным охлаждением. Глубина проникновения 70% СВЧ-энергии в слой зерна влажностью 20–24% не превышает 20–22 мм (рис. 5).

Процесс СВЧ-сушки можно интенсифицировать, если при продувке использовать подогретый воздух вместо наружного, одновременно снизив длительность СВЧ-импульса. Установлено, что продувка слоя зерна воздухом, нагретым до 42°C, первоначально ведет к снижению, а затем к резкому повышению его температуры. Более эффективен режим охлаждения зерна продувкой слоя наружным воздухом. При этом процессе сушки снижает-

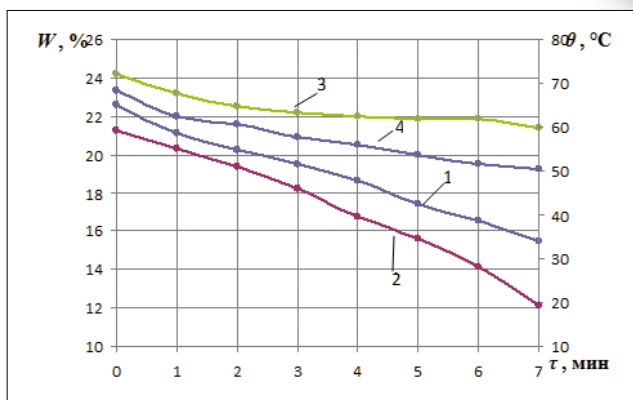


Рис. 4. Зависимость влажности  $W$  (1, 3) и температуры  $\theta$  (2, 4) зерна от времени  $\tau$  сушки: время воздействия СВЧ – 6 с; продувка подогретым (1, 2) и наружным (3, 4) воздухом в течение 20 с  
Fig. 4. The dependence of the moisture content  $W$  (1, 3) and temperature  $\theta$  (2, 4) grain on time  $\tau$  drying: exposure time microwave – 6 s; blowing heated (1, 2) and external (3, 4) air for 20 s

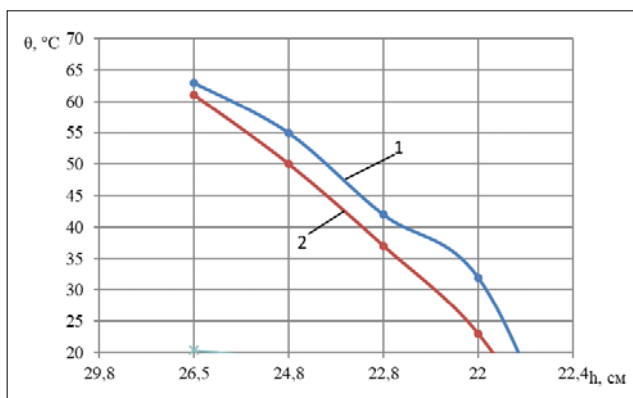


Рис. 5. Зависимость температуры  $\theta$  (1, 2) зерна пшеницы от высоты слоя  $h$  при СВЧ-воздействии: 1 –  $W = 24\%$ ; 2 –  $W = 21\%$ ; длительность импульса  $\tau = 10$  с  
Fig. 5. Temperature dependence  $\theta$  (1, 2) wheat grain on the height of the layer  $h$  at microwave exposure: 1 –  $W = 24\%$ ; 2 –  $W = 21\%$ ; pulse duration  $\tau = 10$  s

ся температура, а продувка слоя зерна подогретым воздухом ведет к снижению всхожести семян. Кинетика комбинированной сушки принципиально не отличается от кинетики сушки пшеницы, но длительность процесса возрастает в квадратичной зависимости от радиуса зерновки, что показано на примере СВЧ-сушки сои.

### Выводы

Максимальная длительность СВЧ-импульса определяется плотностью потока допустимой температуры нагрева зерна и долей теплоты, пошедшей на испарение влаги при нагреве на 20–25°C. Длительность паузы определяется временем охлаждения зерна до температуры, предшествующей импульсу.

Расчетные значения длительности импульса и паузы с погрешностью  $\pm 15\%$  подтверждены экспе-

риментом на зерне влажностью 20-24% при плотности СВЧ-потока 0,7 кВт/м<sup>2</sup>. Глубина проникно-

вения 70% СВЧ-энергии не превышает 20-22 мм, а влагосъем при импульсе составляет 0,1-0,15%.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пахомов В.И., Каун В.Д. Оптимизация тепловой обработки фуражного сырья СВЧ энергией // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2000. №9. С. 8-10.
2. Бурдо О.Г., Терзиев С.Г., Яровой И.И., Борщ А.А. Электромагнитные технологии обезвоживания сырья // *Problemele energeticii regionale*. 2012. №1 (18). С. 69-79.
3. Jomeh Z.E., Askari G.R. Microwave Drying, as Against Combined Method of Drying Sliced Apple. *Iran journal of agricultural sciences*. 2004. Vol. 35. №3. 777-785.
4. Hoover M.W., Markantonatos A., Parker W.N. Experimental and engineering aspects of accelerated freeze-drying of foods by means of UHF dielectric heating // *Food Technology*. 1966. Vol. 20. 103-110.
5. Вендин С.В. Интегральная оценка температурного действия СВЧ обработки семян // *Техника в сельском хозяйстве*. 1995. №3. С. 31-32.
6. Клоков Ю.В. Теория удаления влаги. О нагреве пищевых продуктов в ЭМП СВЧ «объемно» // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2003. №7. С. 29-31.
7. Piescner H. Heating with microwaves. Holland. 1966. 317.
8. Голубкович А.В., Павлов С.А. Оптимизация сушки зерна при осциллирующем режиме // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2014. Т. 8. №1. С. 10-14.
9. Птицин С.Д. Зерносушилки. М.: Машгиз. 1962. 50 с.
10. Лыков А.В. Теория сушки. М.: Энергия 1968. С. 83-97.
11. Елизаров В.П., Артюшин А.А., Ценч Ю.С. Перспективные направления развития отечественной сельскохозяйственной техники // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. №2(31). С. 12-18.

## REFERENCES

1. Pakhomov V.I., Kaun V.D. Optimizatsiya teplovoy obrabotki furazhnogo syr'ya SVCh energiyei [Optimization of heat treatment of raw fodder materials with microwave energy]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2000. №9. 8-10 (In Russian).
2. Burdo O.G., Terziyev S.G., Yarovoy I.I., Borshch A.A. Elektromagnitnyye tekhnologii obezvozhivaniya syr'ya [Electromagnetic technologies of raw materials dehydration]. *Problemele energeticii regionale*. 2012. №1(18). 69-79 (In Russian).
3. Jomeh Z.E., Askari G.R. Microwave Drying, as Against Combined Method of Drying Sliced Apple. *Iran journal of agricultural sciences*. 2004. Vol. 35. №3. 777-785 (In English).
4. Hoover M.W., Markantonatos A., Parker W.N. Experimental and engineering aspects of accelerated freeze-drying of foods by means of UHF dielectric heating. *Food Technology*. 1966. Vol. 20. 103-110 (In English).
5. Vendin S.V. Integral'naya otsenka temperaturnogo deystviya SVCh obrabotki semyan [Integral assessment of the temperature action of microwave seed treatment]. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 1995. №3. 31-32 (In Russian).
6. Klovov Yu.V. Teoriya udaleniya vlagi. O nagreve pishchevykh produktov v EMP SVCh "ob'yemno" [Theory of moisture removal. On "volumetric" foodstuff heating in the microwave EMF]. *Khraneniye i pererabotka sel'khozsyrya*. 2003. №7. 29-31 (In Russian).
7. Piescner H. Heating with microwaves. Holland. 1966. 317 (In English).
8. Golubkovich A.V., Pavlov S.A. Optimizatsiya sushki zerna pri ostilliruyushchem rezhime [Optimization of grain drying in the oscillating mode]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2014. №1. 10-14 (In Russian).
9. Ptitsyn S.D. Zernosushilki [Grain driers]. Moscow: Mashgiz. 1962. 50 (In Russian).
10. Lykov A.V. Teoriya sushki [Theory of drying]. Moscow: Energiya. 1968. 83-97 (In Russian).
11. Elizarov V.P., Artyushin A.A., Tsench Yu.S. Perspektivnye napravleniya razvitiya otechestvennoy sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Promising development trends of domestic agricultural machinery]. *Vestnik VIESH*. 2018. №2(31). 12-18 (In Russian).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

**Статья поступила в редакцию 14.05.2018**  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 14.05.2018

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



## Механизация в технологиях семеноводства корнеплодов

**Владимир Васильевич Михеев,**

кандидат технических наук, ведущий специалист,  
e-mail: miheev-vim@mail.ru;

**Петр Александрович Еремин,**

научный сотрудник;

**Виталий Николаевич Зернов,**

кандидат технических наук,  
ведущий научный сотрудник;

**Сергей Николаевич Петухов,**

кандидат сельскохозяйственных наук,  
ведущий научный сотрудник

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

**Реферат.** В семеноводстве сахарной свеклы набирает популярность эффективная безвысадочно-пересадочная технология с использованием штеклингов. Высаживающие аппараты, предлагаемые на рынке машин, имеют ряд недостатков: невысокую производительность, возможность травмирования корнеплодов, повышенную напряженность труда операторов. (*Цель исследования*) Разработать универсальную конструкцию и параметры аппарата повышенной производительности для высадки штеклингов сахарной свеклы и корнеплодов других культур. (*Материалы и методы*) По условиям применимости и универсальности выбрали конструктивную схему и тип высаживающего аппарата. Рассчитали его предпочтительные конструктивные параметры. Разработали и изготовили в опытном производстве макетный образец машины с универсальным высаживающим аппаратом в виде ячеистого диска. (*Результаты и обсуждение*) В полевых экспериментах подтвердили универсальность посадочной машины с высаживающим аппаратом дискового типа на высадке корнеплодов, в том числе с размерными характеристиками, соответствующими штеклингам. Выявили, что при замене диска с разным количеством ячеек различного размера машина пригодна для высадки целого ряда аналогичных культур. Установили сменный диск с 12-16 ячейками, снизив его угловую скорость до 0,393-1,180 радиан в секунду, что ниже по сравнению с параметрами высаживающего аппарата существующих машин. Обеспечили удовлетворительные агротехнические допуски по размещению корнеплодов моркови в почве на глубину 12 см при шаге посадки 30 см и отклонении от вертикали на 11 градусов. Повысили интенсивность укладки корнеплодов в ячейки высевающего диска до 1-3 штук в секунду. (*Выводы*) Установили, что машина и высаживающий аппарат позволят повысить рабочую скорость до 1 м в секунду и снизить напряженность труда операторов до уровня требований техники безопасности. Применение универсальных машин в селекции и семеноводстве корнеплодных культур снизит номенклатуру машин и эксплуатационные затраты хозяйств.

**Ключевые слова:** механизация, семеноводство корнеплодных культур, высадка корнеплодов, штеклинг, посадочная машина, высаживающий аппарат, корнеплодные культуры, сахарная свекла.

■ **Для цитирования:** Михеев В.В., Еремин П.А., Зернов В.Н., Петухов С.Н. Механизация в технологиях семеноводства корнеплодов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №6. С. 31-37. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-6-31-37.

## Mechanization of Root Crop Seed Production Technologies

**Vladimir V. Mikheyev,**

Ph.D.(Eng.), key expert, e-mail: miheev-vim@mail.ru;

**Petr A. Eremin,**

research engineer;

**Vitaliy N. Zernov,**

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

**Sergey N. Petukhov,**

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

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

**Abstract.** The sugar beet seed production is currently employing a non-planting-and-transplant technology with the use of steklings. Planting units of the machines available on the market feature a number of drawbacks: low productivity, possible injuring of root crops, and increased labor intensity of operators. (*Research purpose*) To develop a universal design and parameters of an increased-productivity unit for planting steklings of sugar beet and other root crops. (*Materials and*

methods) The design scheme and type of a planting unit have been chosen according to the requirements of applicability and versatility. Its preferred design parameters have been calculated as well. A prototype machine with a universal planting unit in the form of a cellular disk has been developed and manufactured in test production. (Results and discussion) The conducted field experiments proved the versatility of a planting machine with a disc-type unit used for planting root crops, including dimensional characteristics corresponding to those of seedlings. The authors have found that when replacing a disk with a different number of cells of different sizes, the machine is suitable for planting a number of similar crops. A removable disk with 12-16 cells has been installed, with its angular speed decreased to 0.393-1.180 radian per second, which is lower as compared to the existing machines. Satisfactory agrotechnical tolerances have been provided for carrot planting in the soil at a depth of 12 cm, a step of 30 cm, and a deviation from the vertical of 110. The intensity of root crop laying in the cells of a seeding disk has been increased to 1-3 pcs. per second. (Conclusions) It has been found that the machine and the planting unit can increase the working speed up to 1.0 meter per second and reduce the labor intensity of operators to the level of safety requirements. The use of universal machines in the breeding and seed production of root crops will reduce the range of the applied machines and operating costs of farm enterprises.

**Keywords:** mechanization, root crop seed production, root crop planting, seedling, type, sowing unit, root crops, sugar beet

■ **For citation:** Mikheyev V.V., Yeremin P.A., Zernov V.N., Petukhov S.N. Mekhanizatsiya v tekhnologiyakh semenovodstva korneplodov [Mechanization of root crop seed production technology]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. №6. 31-37. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-6-31-37 (In Russian).

**П**овышение эффективности производства сахарной свеклы и других культур во многих странах связывают с освоением биотехнологий и инноваций в семеноводстве [1, 2].

До недавнего времени в селекционной практике России были распространены только две технологии семеноводства корнеплодов, например, для сахарной и кормовой свеклы – высадочная и безвысадочная [3]. Первая, по данным семеноводов, затратная, а вторая имеет ограниченное распространение по зонам (на Кубани и в Крыму) [4].

Во многих странах применяют безвысадочно-пересадочную (штеклинговую), рассадно-пересадочную, многолетнюю и другие биотехнологии. Так, в ведущих зарубежных компаниях Германии – *KWS*, Франции – *Florimond Desprez*, Бельгии – *SESVanderHave*, США – *Betaseed* по семеноводству сахарной свеклы кроме высадочной и многолетней, используют также безвысадочную (в Африке, Италии) и штеклинговую технологии. Последнюю из указанных технологий осваивают и в России [5]. Штеклинги в отличие от традиционных маточных корнеплодов свеклы меньше по размерам и массе. Масса штеклингов составляет 30-200 г; диаметр у шейки – 15-25 мм; длина – 150-200 мм; угловая конусность – 7-15°. Их, как и традиционные корнеплоды, перед посадкой сортируют и калибруют по вышеуказанным признакам на сортировочных пунктах селекционно-семеноводческих хозяйств.

Штеклинговую технологию семеноводства сахарной свеклы на больших площадях в России изменяет АО «Щелково Агрохим».

Однако на небольших селекционно-семеноводческих участках отсутствуют эффективные решения по конструкциям машин для высадки корнеплодов, по агротехнологической оценке работоспо-

собности и достаточно обоснованным их параметрам. Актуальным остается вопрос создания универсальных машин.

Для высадки корнеплодов на семенники, например, свеклы, моркови и других культур используют специализированные высадкопосадочные машины, а для высадки корнеплодов разных видов на них дополнительно устанавливают специальные рабочие органы (опции).

В настоящее время во ВНИИСС (п. Рамонь) разрабатывают проект технологии для выращивания семян свеклы из штеклингов и опытные образцы высадкопосадочных машин типа ВПШ/ВПС. Эти машины оборудованы посадочными аппаратами в виде ротационных лункообразователей, но они трудоемки в обслуживании и имеют малую производительность.

Анализ существующих посадочных машин и патентно-технической литературы показал, что на рынке доступны и другие машины с инновационными универсальными высаживающими аппаратами для корнеплодов, рассады и других видов посадочного материала (рис. 1). Однако нет данных об их работоспособности на высадке корнеплодов по размерным характеристикам, соответствующим штеклингам.

Конусный аппарат машины типа *Over Due Manual, A1* обеспечивает очень бережную высадку корней, так как конус плавно внедряется в почву на цепной передаче или диске до заданной глубины. И только потом его створки открываются и происходит высадка корней. В этом варианте напряженность труда оператора повышена из-за необходимости контроля за движущимися вниз конусами и согласования с ними движения рук в двух плоскостях для закладки корнеплода точно в конус. Кроме того, нет



Рис. 1. Типы высаживающих аппаратов:

*a* – высаживающий конус; *b* – револьверный; *c* – эластичные диски; *d* – горизонтальный ячеистый диск

Fig. 1. Types of planting units:

*a* – planting cone; *b* – revolving; *c* – elastic disks; *d* – horizontal cellular disk

удобного доступа к посадочному материалу.

Револьверный аппарат машины фирмы *IMAC* характеризуется удобством загрузки корнеплодов/рассады. Оператор видит сразу все цилиндрические ячейки для корнеплодов. Недостаток этого аппарата – короткое время совпадения ячейки и выгрузного отверстия, а следовательно, и выгрузки корнеплода. Это может привести к его повреждению, поэтому требует снижения рабочей скорости, а значит уменьшения производительности машины. Кроме того, хвостовой корешок штеклинга при движении по днищу аппарата может защемляться и повреждаться.

Машина *Basrijs BV* с эластичными дисками обеспечивает высадку рассады корня без горшочков, с «голыми» корневищами. Однако оператор при обслуживании этого аппарата должен обладать повышенной точностью глазомера и четкой координацией движения рук для забора материала из приемника и размещения его строго в раствор гибких дисков, движущихся сверху вниз (эффект «убегающей» ячейки). Напряженность труда оператора при работе с таким аппаратом повышенная, а его рабочая поза (в полусогнутом положении) не отвечает требованиям техники безопасности.

Машина фирмы *IMAC* с горизонтальным ячеистым диском более универсальна. Ячейки диска образованы радиальными перегородками, прикрепленными к его ступице. Машину можно применять в селекционной практике на посадке многих клубнеплодных культур, например картофеля, топинамбура. Кроме того, преимущества этой машины состоят в том, что горизонтальный диск с ячейками обеспечивает оператору хороший визуальный

контроль и их поштучную загрузку в одной горизонтальной плоскости, что снижает пропуски и двойники. При этом сокращаются расстояние, время перемещений рук оператора и, как следствие, напряженность его труда. К недостаткам такой машины следует отнести низкую производительность, связанную с малой рабочей скоростью, что объясняется отсутствием обоснованных параметров высаживающего аппарата и удобств для работы оператора.

**Цель исследования** – разработать универсальную конструкцию и параметры аппарата повышенной производительности для высадки штеклингов сахарной свеклы и корнеплодов других культур.

**Материалы и методы.** Учитывая преимущества высаживающего аппарата с горизонтальным ячеистым диском, мы приняли за основу его конструктивную схему. Рабочее место оператора модернизировали в соответствии с гигиеническими нормами и требованиями по технике безопасности. Параметры высаживающего аппарата определили расчетным путем с учетом норматива по напряженности труда оператора. В полевых опытах установили допустимое значение этого показателя, позволяющее обеспечить более высокую рабочую скорость машины и, как следствие, производительность.

Параметры высаживающего аппарата машины рассчитывали с учетом агротехнических, санитарных и нормативных требований по следующей методической схеме.

1. Предельная интенсивность поштучной укладки штеклингов оператором (при ручном обслуживании) в один посадочный аппарат:

- нормативная  $I_a \leq 0,5-0,66$  шт./с (при поштучном заборе корней 30-40 шт./мин, ГОСТ Р 53489-2009);

- допустимая  $I_a \leq 1-4$  шт./с (при групповом заборе корней от 2 и более).

2. Густота высадки штеклингов в почву по агротребованиям [1, 3]:

$\Gamma_{\text{ш}} = 3-4$  шт./м при междурядьях 0,30 м; 0,45; 0,60; 0,35 и 0,70 м.

3. Допустимая рабочая скорость посадочного агрегата (с учетом параметров 1 и 2):

$$V_p = I_a \Gamma_{\text{ш}}; V_p = 3 \times 0,35 = 1,05 \text{ м/с.} \quad (1)$$

где  $V_p$  – рабочая скорость посадочного агрегата, м/с.

4. Угловая скорость вращения диска посадочного аппарата, имеющего определенное число ячеек (определяет напряженность труда оператора):

$$\omega_d = 2\pi/T_d = 2\pi/(N_a/I_a), \quad (2)$$

где  $\omega_d$  – угловая скорость вращения диска аппарата, рад/с;

$T_d$  – время перемещения ячеек с диском за пол-



ный оборот, с ;

$N_{\text{я}}$  – число ячеек на диске 6-16, шт.

5. Параметры высаживающего диска находили по формулам:

$n_{\text{д}}$  – число оборотов диска, 1/с:

$$n_{\text{д}} = (\omega_{\text{д}}/2\pi) = N_{\text{я}}/H_{\text{д}}, \quad (3)$$

где  $n_{\text{д}}$  – число оборотов диска, 1/с;

$R$  – радиус диска по размерам корнеплода (штеклинга), м:

$$R = (d_{\text{в}}/2) + L_{\text{к}} = (d_{\text{гк}} + \Delta) (N_{\text{я}}/2) + L_{\text{к}}, \text{ м} \quad (4)$$

где  $d_{\text{в}}$  – внутренний диаметр диска, м;

$L_{\text{к}}$  – длина корнеплода (штеклинга), м;

$d_{\text{гк}}$  – диаметр головки корнеплода, м;

$\Delta$  – зазор между стенками корнеплода и стенками ячеек по внутреннему диаметру диска ( $\leq 0,01$ ), м;

$V_{\text{р}}$  – радиус диска по условиям синхронизации с поступательной скоростью агрегата:

$$V_{\text{р}} = V_{\text{д}}/i, \text{ м/с}, \quad (5)$$

при:

$$V_{\text{д}} = \omega_{\text{д}}R, \text{ м/с}, \quad (6)$$

где  $V_{\text{д}}$  – линейная скорость диска высаживающего аппарата в точке закладки штеклингов (в зоне моторного поля рук оператора), м/с:

$i \sim 0,333$  – передаточное число понижающего редуктора приводного колеса от агрегата к диску посадочного аппарата.

6. При известном шаге посадки, числе ячеек на диске, условиях их загрузки корнеплодами (штеклинками) и планируемой рабочей скорости агрегата, радиус посадочного диска выбирали после расчетов по (5) и (6).

С учетом расчетных данных по вышеизложенной методике разработан и изготовлен в опытном производстве макетный образец машины с универсальным высаживающим аппаратом в виде ячеистого диска для посадки многих видов корнеплодов, в том числе и штеклингов (рис. 2).

В конструкцию существующей машины (рис. 1д) внесены изменения, улучшающие условия работы оператора по показателям напряженности труда и техники безопасности с учетом ГОСТ Р 53489-2009 Система стандартов безопасности труда. Машины сельскохозяйственные навесные и прицепные. Общие требования безопасности; ГОСТ 12.2.002.4-91. Система стандартов безопасности труда. Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Метод определения обзорности с рабочего места оператора; Р 2.2.2006-05 Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.

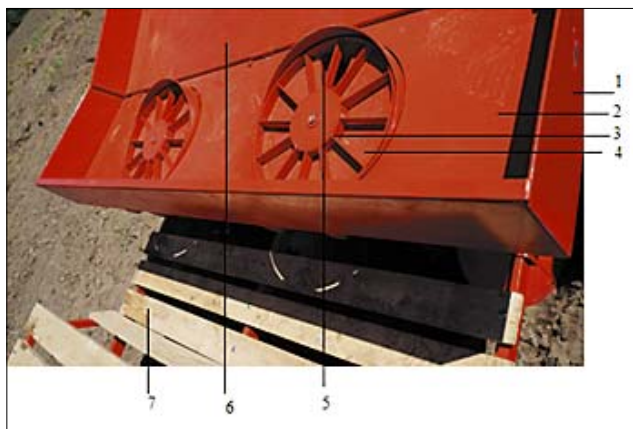


Рис. 2. Внешний вид макетного образца машины для посадки корнеклубнеплодов: 1 – корпус машины; 2 – рабочая площадка; 3 – высаживающий аппарат дискового типа с ячейками; 4 – днище высаживающего аппарата; 5 – выгрузное окно; 6 – площадка для семенного бункера или кассет; 7 – сиденье оператора с подножным настилом

Fig. 2. The appearance of a prototype machine for root-crop planting: 1 – machine body; 2 – operating platform; 3 – disc-type planting unit with cells; 4 – planting unit bottom; 5 – unloading opening; 6 – platform for a seed hopper or dispensers; 7 – operator's seat with underfoot covering

Эти изменения коснулись следующего: введена рабочая площадка 2, улучшен доступ к семенному бункеру 6, сиденье для операторов 7 выполнено в виде единой скамейки с подножным настилом (рис. 2).

Из уравнений (2)-(4) следует, что угловая скорость  $\omega_{\text{д}}$  диска высаживающего аппарата минимальна (0,195-1,575 рад/с) при числе ячеек 12-16 шт., позволяющем снизить напряженность труда оператора в 1,5-2 раза. Радиус высаживающего горизонтального диска аппарата  $R$  равен 0,219-0,251 м, а его внутренний диаметр  $d_{\text{в}}$  составляет 0,057-0,102 м при рабочей скорости агрегата  $V_{\text{р}}$  менее 1,0 м/с (3,6 км/ч).

Посадочный аппарат должен вписываться в габариты машины по условиям безопасности работы оператора (угловая скорость вращения  $\omega_{\text{д}}$  диска в пределах 0,393-1,180 рад/с, а число оборотов  $n_{\text{д}}$  диска – 0,0626-0,251 1/с.

В таблице 1 приведены результаты расчетов.

В лабораторно-полевых условиях ВНИИ картофельного хозяйства (п. Коренево) в июне 2018 г. проведены имитационные испытания машины и высаживающего дискового аппарата с числом ячеек 12 шт., чтобы оценить возможности выполнения технологического процесса посадки корнеплодов в почву и качество их размещения в соответствии со стандартом (СТО АИСТ 5.4-2010 Испытания сельскохозяйственной техники. Машины высадкопосадочные. Методы оценки функциональных показателей. Москва. 2013).



| УГЛОВАЯ СКОРОСТЬ ВРАЩЕНИЯ ДИСКА $\omega_d$ , РАД/С<br>ANGULAR SPEED OF DISK ROTATION $\omega_d$ , RAD/SEC   |                                                        |         |          |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------|----------|----------|
| Частота закладки корнеплодов в ячейку $I_a$ , 1/с<br>Intensity of laying root crops in the cell $I_a$ , 1/s | Число ячеек $Z_a$ , шт. / Number of cells $Z_a$ , pcs. |         |          |          |
|                                                                                                             | 6                                                      | 9       | 12       | 16       |
| 0,50                                                                                                        | 0,525*                                                 | 0,345*  | 0,261*   | 0,195**  |
| 0,66                                                                                                        | 0,693*                                                 | 0,460*  | 0,345*   | 0,259**  |
| 1,00                                                                                                        | 1,040**                                                | 0,700** | 0,525*** | 0,393*** |
| 2,00                                                                                                        | 2,100**                                                | 1,400** | 1,050*** | 0,787*** |
| 3,00                                                                                                        | 3,150**                                                | 2,100** | 1,575*** | 1,180*** |

\* параметры у существующих аппаратов / parameters for the existing units;  
 \*\* расчетные значения / calculated values;  
 \*\*\* параметры предлагаемые / offered parameters

Испытания проведены на корнеплодах моркови диаметром 15-23 мм и длиной 13-16 см.

Почва на опытном участке – супесчаная. Влажность по горизонтам: 0-5 см – 10-12%; 5-10 см – 12-17% и 10-15 см – 17-18%.

Корнеплоды высаживали одной секцией машины. Рабочая скорость трактора МТЗ-82.2 без ходоуменьшителя составляла 1,08 м/с.

Перед началом рабочего хода машины в ячейки высаживающего диска оператор закладывал поодиночке корнеплоды хвостовиком, обращенным к большему диаметру диска, отступая от выгрузного окна на 2-3 ячейки (рис. 3). Следующие корнеплоды оператор укладывал двумя руками, ориентируя их аналогичным образом. При работе диск, вращаясь, перемещал корнеплоды к выгрузному окну 3. При совмещении корнеплода с выгрузным окном он под собственным весом падал вниз и по корнепроводу перемещался ко дну борозды, где загортачи машины сразу заделывали его в почву и уплотняли ее. В процессе движения машины опе-



Рис. 3. Укладка корнеплодов оператором в ячейки высаживающего диска машины:

1 – высаживающий диск; 2 – корнеплод; 3 – выгрузное окно; 4 – рука оператора

Fig. 3. Laying of root crops by an operator in planting disk cells of the machine:

1 – planting disk; 2 – root crop; 3 – unloading opening; 4 – operator's hand



Рис. 4. Участок делянки с высаженными в почву корнеплодами:

1 – почва на делянке; 2 – корнеплод в почве после высадки машиной

Fig. 4. A land plot with root crops planted in the soil:

1 – soil on the plot; 2 – root crop in the soil after machine planting

ратор вручную закладывал в освободившиеся ячейки 4 новых корнеплода и таким образом цикл работы повторялся на длине рабочей делянки.

После высадки корнеплодов на делянке их отклонение от вертикали определяли по пяти корнеплодам, размещенным по ее длине (рис. 4). Вокруг каждого корнеплода-маточника выбирали почву таким образом, чтобы было видно его положение относительно вертикальной плоскости. Угол отклонения каждого корнеплода от вертикали измеряли транспортиром с точностью  $\pm 1^\circ$  между двумя металлическими спицами. Толщина спиц составляла 2 мм, и их размещали вертикально и вдоль поверхности корнеплода.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** Результаты оценки работоспособности аппарата и качественные показатели размещения корнеплодов в почве отражены в таблице 2.

Анализ результатов показал, что посадка имитационных корнеплодов проходила равномерно в соответствии с установленными параметрами: отклонение корнеплодов от вертикали не превыша-

**Таблица 2**
**Table 2**

| <b>КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАЗМЕЩЕНИЯ КОРНЕПЛОДОВ В ПОЧВЕ</b><br><b>QUALITATIVE INDICATORS OF PLACING ROOT CROPS IN THE SOIL</b>                                                      |                                                       |                                              |                                                        |                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Показатели<br>Indicators                                                                                                                                                              | Среднее арифметическое значение<br>Arithmetic average | Стандартное отклонение<br>Standard deviation | Коэффициент вариации, %<br>Coefficient of variation, % | Количественная доля с допустимым отклонением, %<br>Quantity fraction with a permissible deviation, % |
| Отклонение корнеплодов от вертикали, град.<br>Deviation of root crops from the vertical, degrees                                                                                      | 11                                                    | $\pm 2$                                      | 45                                                     | 95                                                                                                   |
| Глубина посадки, см<br>Planting depth, cm                                                                                                                                             | 12                                                    | $\pm 3$                                      | 20                                                     | 90                                                                                                   |
| Шаг посадки, см<br>Planting pitch, cm                                                                                                                                                 | 30                                                    | $\pm 5$                                      | 30                                                     | 85                                                                                                   |
| Интенсивность закладки корнеплодов в ячейки диска аппарата, шт./с:<br>Intensity of root crop laying in the unit disk cell, pcs./s:<br>минимальная / minimal<br>максимальная / maximum | 1<br>3                                                | 0<br>$\pm 1$                                 | 0<br>$\pm 20$                                          | 100<br>80                                                                                            |

ло  $11 \pm 2^\circ$ ; глубина посадки –  $12 \pm 3$  см; шаг посадки –  $30 \pm 5$  см; интенсивность закладки корнеплодов в ячейки диска высаживающего аппарата – 1-3 шт./с. Обеспечение вертикального положения корнеплода при высадке достигается в ходе настройки параметров и регулировок корнепровода. Устойчивая глубина и равномерный шаг посадки – результат качества подготовки почвы, индивидуального копирования рельефа почвы сошником высаживающего аппарата, равномерности хода трактора и привода высаживающего аппарата. Оптимальная напряженность труда оператора при закладке корнеплодов в ячейки может быть обеспечена при его работе двумя руками и при организованном размещении корнеплодов на рабочей площадке.

Таким образом, подтверждена гипотеза универсальности посадочной машины с высаживающим аппаратом дискового типа и на высадке корнеплодов с размерными характеристиками, относящихся к штеклингам. При замене дисков с разным количеством ячеек различного размера машина пригодна для высадки целого ряда аналогичных культур.

тур. Применение этих машин в селекции и семеноводстве корнеплодных культур снизит номенклатуру машин и эксплуатационные затраты хозяйств.

**Выводы.** Выявили, что высаживающий аппарат машины следует оснастить горизонтальным диском с секциями (ячейками) для корнеплодов, чтобы обеспечить их поодиночное размещение по характерным размерам. На высаживающем диске радиусом 0,438-0,502 м необходимо расположить 12-16 секций. В полевых экспериментах определили возможность применения машины и аппарата для высадки типичных корнеплодов с соблюдением основных агротехнических допусков. Установили, что машина и высаживающий аппарат позволят повысить рабочую скорость до 1,0 м/с и снизить напряженность труда операторов до уровня требований техники безопасности.

Предлагаемые машина и высаживающий диск найдут применение в технологиях производства семян сахарной и кормовой свеклы, моркови и других корнеплодных культур.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Tschoep H. Breeding for a brave, new world – the opportunities for a sugar beet breeder // *International Sugar Journal*. 2018. Vol. 120 (1434). June. 458-461.
2. Maerlaender B., Hoffmann C., Koch H.-J. Sustainable intensification a quarter century of research towards higher efficiency in sugar beet cultivation. *Zuckerindustrie. Sugar Industry*. 2018. 143(4). April. 200-217.
3. Петров В.А., Борзаковский И.В. Учебная книга свекловода. М.: Агропромиздат. 1985. С. 153-173.
4. Жарков Ю.В. Возможности применения пересадочной и многолетней культуры семенников сахарной свеклы // *Сахарная свекла*. 1981. N2. С. 36-39.
5. Федоренко В.Ф., Мишуrow Н.П., Щеголихина Т.А. Современные технологии и оборудование в селекции и семеноводстве отечественных сортов сахарной свеклы: научный аналитический обзор. М.: Росинформагротех. 2018. 88 с.
6. Федорова М.И., Солдатенко А.В., Степанов В.А., Ветрова С.А., Заячковский В.А., Вюртц Т.С. Методологические основы селекции и семеноводства овощных культур.

неплодных растений // *Овощи России*. 2018. N3. С. 52-55.

7. Михеев В.В., Хамуев В.Г., Текушев А.Х., Кынев Н.Г., Кубеев Е.И. Инновационное технологическое и техническое совершенствование селекции и семеноводства сахарной свеклы // *Вестник ВИЭСХ*. 2018. N3(32). С. 66-75.

8. Макарова Г.В., Соловьев С.В., Титенкова М.С. Установка для предпосадочной обработки клубней семенного картофеля низкочастотным магнитным и тепловым полями // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2017. N2(23). С. 100-106.

9. Кубеев Е.И., Антропов Б.С. Декомпозиция технологических процессов для оценки эффективности функционирования поточной линии по предпосевной обработке семян // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N3. С. 22-27.

10. Лёвина М.В. Основные проблемные тенденции и стратегические направления развития свеклосахарного подкомплекса в условиях рынка // *Теория и практика мировой науки*. 2017. N7. С. 39-42.

## REFERENCES

1. Tschoep H. Breeding for a brave, new world – the opportunities for a sugar beet breeder. *International Sugar Journal*. 2018. 120 (1434). June. 458-461 (In English).

2. Maerlaender B., Hoffmann C., Koch H.-J. Sustainable intensification a quarter century of research towards higher efficiency in sugar beet cultivation. *Zuckerindustrie. Sugar Industry*. 2018. 143(4). April. 200-217 (In English).

3. Petrov V.A., Borzakovskiy I.V. Uchebnaya kniga sveklovoda [Sugar grower's training book]. Moscow: Agropromizdat. 1985. 153-173 (In Russian).

4. Zharkov Yu.V. Vozmozhnosti primeneniya peresadochnoy i mnogoletney kul'tury semennikov sakharnoy svekly [Opportunities of transplantation and perennial sugar beet seeds]. *Sakharnaya svekla*. 1981. N2. 36-39 (In Russian).

5. Fedorenko V.F., Mishurov N.P., Shchegolikhina T.A. Sovremennyye tekhnologii i oborudovaniye v selektsii i semenovodstve otechestvennykh sortov sakharnoy svekly: nauchnyy analiticheskiy obzor [Modern technologies and equipment in the breeding and seed production of domestic sugar beet varieties: scientific analytical report]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2018. 88 (In Russian).

6. Fedorov M. I., Soldatenko A. V., Stepanov V. A., Vetrova S. A., Zajackowski V. A., Wurtz T. S. Metodologicheskie osnovy selektsii i semenovodstva ovoshchnykh korneplodnykh rasteniy [Methodological bases of selection and seed growing of vegetable root plants]. *Ovoshchi Rossii*. 2018. N3. 52-55 (In Russian).

7. Mikheev V. V., Hamaev V. G., Tekushev A. H., Kynev N.G., Kubeev E. I. Innovatsionnoe tekhnologicheskoe i tekhnicheskoe sovershenstvovanie selektsii i semenovodstva sakharnoy svekly [Innovative technological and technical improvement of selection and seed growing of sugar beet]. *Vestnik VIESH*. 2018. N3(32). 66-75 (In Russian).

8. Makarova G. V., Soloviev S. V., titenkova M. S. Ustanovka dlya predposadochnoy obrabotki klubney semennogo kartofelya nizkochastotnym magnitnym i teplovym polyami [Installation for pre-treatment of seed potato tubers with low-frequency magnetic and thermal fields]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2017. N2(23). 100-106 (In Russian).

9. Kubeev E. I., Antropov B. S. Dekompozitsiya tekhnologicheskikh protsessov dlya otsenki effektivnosti funktsionirovaniya potochnoy linii po predposevnoy obrabotke semyan [Decomposition of technological processes for evaluation of the efficiency of the production line for pre-sowing seed treatment]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. N3. С. 22-27 (In Russian).

10. Levina M. V. Osnovnye problemnye tendentsii i strategicheskie napravleniya razvitiya sveklosaharnogo podkompleksa v usloviyakh rynka [The main problematic trends and strategic directions of development of the sugar beet sector in the market conditions]. *Teoriya i praktika mirovoy nauki*. 2017. N7. 39-42 (In Russian).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 09.11.2018  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 09.11.2018

Статья принята к публикации 30.11.2018  
The paper was accepted  
for publication on 30.11.2018



## Концептуальные основы энергоэкологии светокультуры

**Сергей Анатольевич Ракутько,**

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

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

**Реферат.** Для повышения эффективности тепличного производства широкое применение находит технология выращивания растений при искусственном облучении, то есть светокультура. Предложили расширить круг рассматриваемых в этой области вопросов и выделить энергоэкологию светокультуры как научное направление, расположенное на стыке энергетических и технических дисциплин, физиологии растений и экологии. (*Цель исследования*) Разработать концептуальные основы энергоэкологии светокультуры как отдельного научного направления. (*Материалы и методы*) Объектом исследования служила искусственная биоэнергетическая система светокультуры, то есть совокупность живых организмов и технологического оборудования в культивационном сооружении. Математическое описание закономерностей переноса субстанции в светокультуре провели на основе иерархической модели искусственной биоэнергетической системы светокультуры. Предметом изучения энергоэкологии светокультуры стали закономерности преобразования потоков вещества и энергии. (*Результаты и обсуждение*) Определили частные показатели энергоэкологичности. Получили выражение для определения коэффициента энергоэкологичности светокультуры через ее технологические показатели. Предложили трактовку термина «энергоэкологичность светокультуры» как свойство технологического процесса выращивания растений в искусственно созданных условиях соответствовать требованиям энергоэффективности и экологичности. Показали, что к светокультуре может быть применен подход, опирающийся на концепцию наилучших доступных технологий. Получили выражение для количественной оценки свойства энергоэкологичности по степени близости траекторий развития искусственной биоэнергетической системы светокультуры в пространстве состояний. Предложили алгоритм формирования наилучших доступных технологий светокультуры. (*Выводы*) Впервые поставили вопрос о разработке структурных элементов алгоритма формирования доступных технологий светокультуры по энергоэкологичности как системному интегративному критерию оптимальности. Разработали методики энергоаудита для оптимизации процесса выращивания растений по критерию минимальных отклонений энергоэкологичности путем варьирования параметров облучения, условий окружающей среды и других факторов. Подчеркнули, что комплексная реализация энергоэкологических технологий светокультуры позволит увеличить эффективность, повысить качество продукции, снизить энергоемкость и обеспечить экологичность производства.

**Ключевые слова:** тепличное производство, культивационные сооружения, светокультура, энергоэффективность, экологичность, интегративный критерий оптимальности.

■ **Для цитирования:** Ракутько С.А. Концептуальные основы энергоэкологии светокультуры // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №6. С. 38-44. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-6-38-44.

## Conceptual Framework of Energy-and-Ecology of Indoor Plant Lighting

**Sergei A. Rakut'ko,**

Dr.Sc.(Eng.), key research engineer,  
e-mail: sergej1964@yandex.ru

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – Branch of Federal  
Agroengineering Centre VIM, St.-Petersburg, the Russian Federation

**Abstract.** To increase the efficiency of horticulture, the technology of plant cultivation under artificial lighting, i.e. indoor plant lighting, is widely used. The author proposes to expand the range of issues considered in this field and highlight the energy-and-ecology of horticulture (EEH) as a scientific area located at the junction of power engineering and technical

subjects, plant physiology, and ecology. (*Research purpose*) To develop a conceptual framework of the energy-and-ecology of horticulture. (*Materials and methods*) The object of EEH research is an artificial bioenergetic system of horticulture (ABSH), i.e. a combination of living organisms and technological equipment in a plant growing facility. A mathematical description of the regularities of transferring a substance in horticulture is produced on the basis of a hierarchical model of ABSH. The subject of the EEH study is the regularities of the transformation of matter and energy flows in ABSH. (*Results and discussion*) The author has determined some specific indicators of energy-ecological compatibility and obtained an expression for determining the energy-ecological coefficient of horticulture through its technological indicators. The paper offers an interpretation of the term "energy-and-ecology of horticulture" as a property of the technological process of plant growing in artificial conditions to meet the requirements of energy efficiency and environmental friendliness. It is shown that an approach based on the concept of best available technologies (BAT) can be applied to the indoor plant lighting. An expression for the quantitative assessment of the energy-ecological parameter in terms of the proximity of the development trajectories of ABSH in a state-space has been obtained. The author proposes an algorithm for BAT forming to be applied in indoor plant lighting. (*Conclusions*) For the first time, the author raises a question about the development of structural elements of the BAT formation algorithm in lighting horticulture in terms of energy-ecological indicators as an integrative optimality criterion of the system. The author has developed energy audit techniques to optimize the process of plant growing according to the criterion of minimal deviations of energy-ecological performance by varying the lighting parameters, environmental conditions and other factors. Complex implementation of energy- and ecological technologies of indoor plant lighting will allow increasing the efficiency of the production process, reducing the energy intensity while improving the quality of products and ensuring the environmental friendliness of production.

**Keywords:** horticulture, plant growing facilities, indoor plant lighting, energy efficiency, ecological compatibility, best available technologies

■ **For citation:** Rakut'ko S.A. Kontseptual'nyye osnovy energoekologii svetokul'tury [Conceptual framework of energy-and-ecology of indoor plant lighting]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. N6. 38-44. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-6-38-44 (In Russian).

Современные тенденции развития аграрного производства ориентированы на сохранение природы и экологической устойчивости при минимизации затрат энергетических и других ресурсов на производство продукции [1]. Теплично-му направлению, как и аграрной отрасли в целом, в государственных программах развития сельского хозяйства уделяется большое внимание. Благодаря господдержке аграрии строят современные тепличные комплексы и реконструируют существующие.

Инновационное развитие производства продукции закрытого грунта продиктовано стремлением агробизнеса к достижению максимальной рентабельности и требует разработки соответствующего научного обеспечения. В частности, в тепличных комплексах широко применяют технологию выращивания растений при искусственном облучении, то есть светокультуру. Искусственные источники света позволяют добиться оптимального сочетания параметров световой среды: интенсивности и продолжительности освещения нужного спектрального состава.

В последнее время все больше внимания уделяется взаимосвязи обеспечения энергосбережения и повышения экологичности как для предприятий АПК в целом, так и отдельных технологических процессов. Задача энергоресурсосбережения сопряжена с повышением энергоэффективности, сниже-

нием энергоемкости технологических процессов в теплицах, которые становятся крупными потребителями энергоресурсов. Причем необходимо учитывать их воздействие на окружающую среду. Решение данной проблемы на фундаментальном уровне обеспечит прорыв в отдельных методиках анализа и синтеза технологии светокультуры.

К настоящему времени вопросы количественного описания физических, физико-химических и биологических процессов в агроэкосистемах, раскрытие эколого-генетических и физиологических механизмов регуляции продукционного процесса выращиваемых растений в оптимальных и стрессовых условиях разработаны недостаточно.

В НИЛЭЭС филиала ВИМ ИАЭП предложили выделить энергоэкологию светокультуры в качестве самостоятельного научного направления. Данное направление конкретизирует междисциплинарные исследования, проводимые в ИАЭП по интегрированию отдельных технических и технологических решений в систему и по разработке алгоритмов управления этой системой, формированию наиболее современных технологий с точки зрения энергетических и экологических критериев, по моделированию основных производственных процессов АПК в области получения продукции растениеводства в контролируемых условиях.

**Цель исследования** – разработать концептуальные основы энергоэкологии светокультуры как от-

дельного научного направления.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** Под термином «*светокультура*» принято понимать теоретические основы и практические методы выращивания растений с применением искусственного облучения. Эта междисциплинарная наука включает отдельные положения растениеводства, агрономии, светотехники, фотометрии, электротехники и автоматики. Традиционный подход в исследованиях по светокультуре заключается прежде всего в изучении реакции определенных параметров растения (биомассы, высоты стебля и так далее) на изменения условий окружающей среды.

Светокультура служит частным случаем оптических электротехнологий, в которых энергетическое воздействие осуществляется оптическим излучением и основано на эффекте чувствительности растений к изменению световой среды. Влияние энергии излучения в отдельных спектральных диапазонах на рост и развитие различных видов растений изучено достаточно хорошо. Менее исследовано комплексное влияние световой среды и других факторов выращивания растений в искусственных условиях на энергоэффективность и экологичность светокультуры. Основным источником энергии, обеспечивающим формирование биомассы, в том числе урожая, служит энергия оптического излучения, а именно та ее часть, которая потенциально пригодна для фотосинтеза, – эксергия излучения. Полнота использования ее растениями в процессе фотосинтеза и формирования продуктивности урожая во многом зависит от динамики изменения различных факторов и их благоприятных сочетаний во времени. Каждому виду растений присуща своя восприимчивость воздействия внешних факторов [2].

Высокая экономичность тепличного производства продукции достигается путем его интенсификации. Однако это сопряжено с особыми экологическими угрозами. Для северного типа теплиц с дополнительным обогревом и другим высокотехнологичным оборудованием характерен высокий уровень выбросов  $CO_2$ , что связано с использованием газа для отопления и повышения концентрации углекислоты в теплице. На них же приходится основная доля потребляемой энергии. Так, в Голландии на тепличные хозяйства приходится 79% всей потребляемой энергии [3]. Повышение энергоэкологичности тепличного производства – важная задача, решение которой существенно снизит материальные затраты.

Оптимизация процесса получения продукции растениеводства в условиях светокультуры подразумевает снижение нерационального расхода потоков используемых субстанций (вещества и энергии) на разных стадиях технологического процес-

са. В силу различной природы процессов, протекающих в разных технологических установках, в настоящее время отсутствует единый подход к анализу и оптимизации экологичности и энергоэффективности светокультуры (ЭЭС).

Объект исследования ЭЭС как нового научного направления – искусственная биоэнергетическая система светокультуры (ИБЭСС), то есть совокупность биологических организмов (растений) и технологического оборудования (облучательных установок, устройств обеспечения параметров микроклимата и питания растений) в культивационном сооружении (теплице, сити-ферме, фитоустановке). Закономерности переноса субстанции в продукционном процессе светокультуры математически описываются на основе иерархической модели ИБЭСС. Системным интегративным критерием оптимальности служит энергоэкологичность, сохраняющая свой статус в ходе декомпозиции в локальных критериях оптимальности при решении задач оптимизации отдельных иерархических уровней.

Предмет изучения ЭЭС – закономерности преобразования потоков вещества и энергии в ИБЭСС, которые определяют как энергоэффективность получения урожая (задача энергосбережения), так и повышение качества продукции, снижения количества нитратов, влияния на окружающую среду (обеспечения экологичности).

ЭЭС как научное направление находится на стыке традиционных наук (рис. 1):

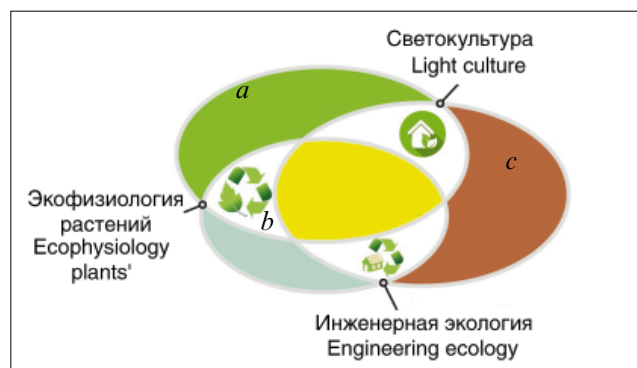


Рис. 1. Структура ЭЭС как научного направления: а – физиология растений; б – экология; с – энергетика

Fig. 1. Structure of the EEC as a scientific direction: a – plant physiology; b – ecology; c – power engineering

- энергетических и технических дисциплин, в рамках которых рассматриваются физические принципы, вопросы конструирования и эксплуатации источников света, облучательного и другого оборудования на базе энергосберегающих технических решений;

- физиологии растений, изучающей интенсивность и продуктивность фотосинтеза в зависимости от экологических факторов, прежде всего, оп-



тического излучения, которое определяет количественные и качественные параметры фотосинтеза на всех уровнях его формирования – организменном, органном, тканевом, клеточном и молекулярном, а также способы адаптации растений к условиям среды;

- экологии, важнейшей концепцией которой стала идея о структуре и направленности потоков субстанции в живых системах, организованных в надорганизменные системы различных уровней – популяции, биоценозов; взаимоотношения организмов между собой и с окружающей средой.

Теоретические исследования базировались на моделировании структурных уровней ИБЭСС. Экспериментальные исследования показателей энергоэкологичности светокультуры проводили на лабораторных установках и в производственных культивационных сооружениях.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** Разработанная иерархическая информационная модель ИБЭСС позволяет оценить энергоэффективность производства и его экологичность [4]. Модель основана на учете входных потоков вещества и энергии. Выходные потоки формируются из полезной продукции, потерь вещества (отходы, выбросы, сбросы) и энергетических потерь.

Научной основой модели служит прикладная теория энергосбережения в энерготехнологических процессах (ПТЭЭТП), описывающая энергетику ИБЭСС с учетом ее многоуровневости и закономерностей взаимодействия сельскохозяйственных биологических объектов с искусственной средой обитания [5, 6].

Процессы, протекающие в сложных сельскохозяйственных ИБЭСС, можно свести к определенному набору типовых процессов преобразования энергии и переноса вещества, происходящих в отдельных объектах системы. Иерархичность информационной модели системы определяется многоуровневостью ИБЭСС.

Модель позволяет проектировать и оптимизировать светокультуру по единому критерию энергоэкологичности.

На отдельных иерархических уровнях математической модели ИБЭСС выделены параметры, которые можно считать частными показателями энергоэкологичности (рис. 2).

Математическая модель объединяет:

1. *Агрохимические и физические показатели воздуха и субстрата:*

$T$  – температура воздуха и субстрата, °C;  
 $W$  – влажность воздуха и субстрата, %;  
 $C_i^c$  – содержание веществ в субстрате, мг/кг;  
 $C_{орг}$  – содержание органического вещества, мг/кг;  
 $pH$  – показатель кислотности, ед.;  
 $EC$  – показатель электропроводности, мСм/см.

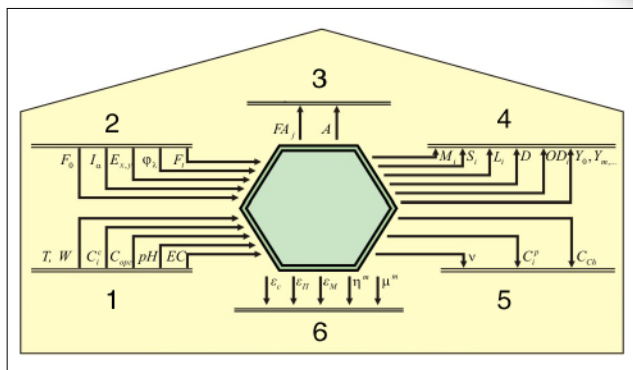


Рис. 2. Комплекс частных показателей энергоэкологичности ИБЭСС: 1 – агрохимические и физические показатели воздуха и субстрата; 2 – показатели радиационного режима; 3 – показатели стабильности развития и устойчивости растений; 4 – биометрические показатели растений; 5 – биохимический состав растений; 6 – технологические показатели светокультуры

Fig. 2. Complex partial indicators of energoecological of IBAS: 1 – agrochemical and physical indicators of air and substrate; 2 – indicators of radiation regime; 3 – indicators of stability of development and stability of plants; 4 – biometric indicators of plants; 5 – biochemical composition of plants; 6 – technological indicators of light culture

## 2. Показатели радиационного режима:

$F_0$  – величина потока излучения источников, мкмоль/с;

$I_a$  – пространственное распределение потока источников;

$E_{\lambda,y}$  – распределение облученности на уровне верхушек растений, мкмоль·с<sup>-1</sup>·м<sup>-2</sup>;

$\phi_\lambda$  – спектральный состав, отн. ед;

$F_t$  – закон изменения потока во времени.

## 3. Показатели стабильности развития и устойчивости растений:

$FA_j$  – флуктуирующая асимметрия билатеральных признаков, отн. ед.;

$A$  – степень повреждения клеточных мембран, отн. ед.

## 4. Биометрические показатели растений:

$M_i$  – масса частей растения ( $M_i^l$  – листьев каждого яруса,  $M^c$  – стебля,  $M^k$  – корня), г;

$S_i$  – площадь листа каждого яруса, см<sup>2</sup>;

$S$  – общая площадь листьев, см<sup>2</sup>;

$L_i$  – длина междоузлий, см;

$H$  – общая высота растения, см;

$D$  – диаметр шейки стебля, мм;

$OD_i$  – спектральная оптическая плотность листьев, отн. ед.;

$Y_0, Y_m$  – коэффициенты ростовых формул, отн. ед.

## 5. Биохимический состав растений:

$v$  – содержание сухого вещества, %;

$C_i^p$  – содержание веществ, мг/кг;

$C_{ch}$  – относительное содержание хлорофилла в листьях, отн. ед.

6. Технологические показатели светокультуры:

$\varepsilon_M$  – энергоемкость продукции, кВт·ч/кг;

$\varepsilon_c$  – энергоемкость сырья, кВт·ч/кг;

$\varepsilon_{II}$  – энергоемкость процесса, отн. ед.;

$\mu^m$  – энергоемкость теоретически возможного выхода продукции, отн. ед.;

$\eta^m$  – КПД процесса, отн. ед.

Первая и вторая группы показателей энергоэкологичности – факторы воздействия на растения (входные координаты); группы с третьей по шестую – выходные координаты математической модели. Получено уравнение для определения коэффициента энергоэкологичности светокультуры через ее технологические показатели:

$$K_{ЭЭ} = \frac{\varepsilon_c}{\mu^m \eta^m \varepsilon_{II}^2 \varepsilon_M} \quad (1)$$

Предложена трактовка термина «энергоэкологичность светокультуры» как свойства технологического процесса выращивания растений в искусственно созданных условиях культивационного сооружения соответствовать требованиям энергоэффективности и экологичности.

В силу особенностей растения как биологического объекта получение в результате его выращивания конечной продукции с заданными свойствами представляет собой циклический процесс, который начинается с прорастания семени и заканчивается сбором полезной продукции (плодов, зелени).

Создаваемые техническими средствами ИБЭСС параметры среды в культивационном сооружении могут отличаться на различных этапах роста и развития растения. Можно говорить о некоторой «траектории» изменения ИБЭСС в  $n$ -мерном пространстве состояний, которая соединяет ее начальные и конечные точки. Осями координат служат частные показатели энергоэкологичности (рис. 3).

Идеальной (И) считается такая траектория в  $(n+1)$ -мерном пространстве состояний (с учетом координаты времени), при которой достигается наиболее полная реализация генетического потенциала растения, его сортовых возможностей при условии обеспечения экологичности и энергоэффективности технологического процесса светокультуры. В силу ряда объективных причин этот вариант может быть и не достижим на практике. Оптимальной траектории (О) следует ожидать в условиях применения наилучших доступных технологий светокультуры (НДТС). Такие технологии производства продукции растениеводства в контролируемых условиях выбирают для конкретных условий и требований из достигнутого уровня науки, техники и технологий по критерию минимальных удельных энергетических затрат и воздействия на окружающую среду при условии обеспечения экологически

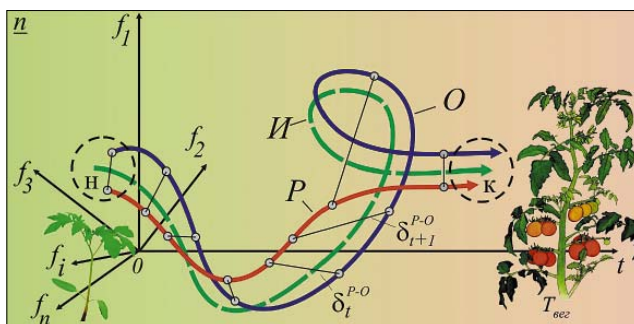


Рис. 3. Траектории развития ИБЭСС

Fig. 3. The trajectory of the development of IBAS

чистой конечной продукции. В реальном культивационном сооружении по причинам несовершенства технологического процесса, несоблюдения режимов работы оборудования, сбоев в подсистемах ИБЭСС возможны существенные отклонения траектории развития (кривая Р).

Количественная оценка свойства энергоэкологичности должна характеризовать близость принятой технологии к НДТС. Степень близости может быть оценена по нормированному евклидовому расстоянию между двумя траекториями для сравниваемых условий (Р) и для условий НДТС (О):

$$\mathcal{E}^P = \begin{cases} \frac{1}{k} \sum_{t=1}^k \delta_t^{P-O} \\ O \in \text{НДТС} \end{cases} \quad (2)$$

Если функциональные зависимости величин частных показателей от времени заданы в аналитической форме, выражение для энергоэкологичности принимает вид:

$$\mathcal{E}^P = \frac{1}{T_{\text{вег}}} \int_0^{T_{\text{вег}}} \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i (f_i^P(t) - f_i^O(t))^2} dt, \quad (3)$$

где  $T_{\text{вег}}$  – период вегетации;

$f_i^P$  и  $f_i^O$  – функциональные зависимости  $i$ -го показателя от времени для реальной и оптимальной технологий соответственно;

$w_i$  – весовой коэффициент значимости  $i$ -го показателя.

Результатом применения научного анализа роли и влияния отдельных факторов в рамках научного направления энергоэкологии светокультуры стало создание НДТС. Светокультура как производственный процесс не относится к области обязательного применения НДТС по категории воздействия на окружающую среду. Но ее технологии, методы, способы и технические решения, достигающие в целом наиболее эффективным способом высокого уровня защиты окружающей среды, разработанные и готовые к внедрению в соответствующей отрасли на конкретном предприятии, подходят для решения многих проблем.

При наличии соответствующего научного обо-

снования, технических разработок, статистического анализа необходимо создать справочник НДТС по аналогии с имеющимися для различных технологических процессов. С учетом специфики светокультуры в алгоритме формирования НДТС можно выделить пять структурных элементов (рис. 4).

**I. Факторы.** Любой элемент внутренней среды культивационного сооружения, оказывающий прямое или косвенное воздействие на растения на протяжении какой-либо фазы их развития, является экологическим фактором. Степень интенсивности  $i$ -го фактора численно характеризуется величиной  $f_i$ .

**II. Условия.** Обеспечение возможности жизнедеятельности растений в культивационных сооружениях подразумевает соблюдение некоторых дополнительных условий, накладываемых на экологические факторы. Они могут быть заданы в виде математических зависимостей  $U = g(f)$ , ограничивающих значение соответствующих показателей, например: условие нахождения параметра  $f_i$  в некотором диапазоне в пределах от начального  $f_i^{\text{н}}$  до конечного значения  $f_i^{\text{к}}$ ; условие превышения некоторого критического значения  $f_i^{\text{кр}}$ ; ограничения, наложенные на его пространственную неравномерность, характеризуемую соотношением  $z$  между средним  $f_i^{\text{ср}}$  и минимальным  $f_i^{\text{мин}}$  значениями облученности, и т.д.

**III. Правила.** Применяемая технология выращивания растений заключается в соблюдении некоторых правил  $R = g(U)$ , связывающих между собой условия с помощью логических операций (И, + ИЛИ, НЕ). Данные правила реализуются в алгоритме управления светокультурой.

**IV. Оценка.** Каждой технологии выращивания растений можно поставить некоторую оценку (величину энергоэкологичности)  $\mathcal{E}\mathcal{E}_i = P(R_i)$ , определяющую степень соответствия светокультуры в относительных единицах для данного варианта проведения технологического процесса, сравниваемых условий и условий НДТС.

**V. Выбор.** Выбор технологии светокультуры в качестве наилучшей доступной осуществляется по критерию экстремального значения из найденных показателей энергоэкологичности (минимум или максимум в зависимости от принятого алгоритма оценки).

Работы НИЛЭЭС в течение последних лет посвящены вопросам оптимизации светокультуры. Предложены концепция ИБЭСС и ее иерархическая информационная модель; метод оценки энергоэффективности процесса фотосинтеза по его энергоемкости, на основе которого выработана методика энергоэкоаудита светокультуры и оценки энергоэкологичности по близости годографов (траекторий) векторов динамической энергоемкости, по-

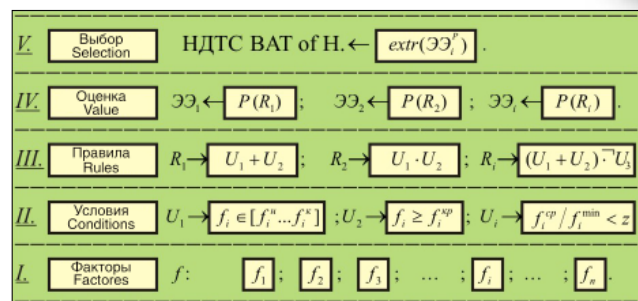


Рис. 4. Структурные элементы алгоритма формирования НДТС

Fig. 4. Structural elements of the algorithm of formation of NDTs

строенных в координатах массы сухого вещества в растении и дозы облучения [6]. Показано влияние спектра излучения на энергоэкологичность светокультуры. Исследованы вопросы комплексной оценки стабильности развития растений в зависимости от качества световой среды. Проведены эксперименты в области частной светокультуры по выращиванию петрушки, салата, томатов и огурцов. Разработаны основы метрологического обеспечения энергоэкологии светокультуры и средства аттестации источников излучения, применяемых при облучении растений. Созданы малогабаритные приборы-анализаторы: спектральной энергоемкости потока излучения, качества спектра и облучения для светокультуры, технические средства (фитооблучатели, облучательные установки, вегетационные модули) для выращивания растений по технологии светокультуры в бытовых помещениях (офисы, квартиры) и в мелких фермерских хозяйствах. Получены патенты, техническим результатом которых стало снижение энергоемкости в тепличных облучательных установках.

Потенциальными потребителями созданной научной продукции стали тепличные хозяйства, мелкотоварное производство закрытого грунта, научно-исследовательские организации, аграрные вузы.

Важность проблем повышения энергоэффективности и ресурсоотдачи, энергосбережения и улучшения экологической обстановки сегодня неоспорима. Современное тепличное производство является энерго- и ресурсоемким, характеризуется высоким потреблением энергии, питательных веществ и технических средств выращивания растений. Интенсивность технологического процесса сказывается как на окружающей среде, так и внутренней среде теплицы. Энергоэффективное производство требует внедрения современных специальных энергоэкологических технологий.

**Выводы.** Показали, что концептуальные основы разрабатываемого нового научного направления «Энергоэкология светокультуры» направлены на изучение закономерности преобразования пото-



ков вещества и энергии в ИБЭСС, формирующие ее энергоэффективность и экологичность. Повышение энергоэкологичности светокультуры связано с применением научного анализа и интеллектуальных алгоритмов управления светокulturой как многоуровневой системой, включающей энергетические, технологические и биологические объекты.

Впервые поставили вопрос о разработке структурных элементов алгоритма формирования НДТС по критерию энергоэкологичности как системному интегративному критерию оптимальности.

Разработанные методики энергоаудита стали

важнейшим результатом проводимых исследований, которые можно использовать для оптимизации процесса выращивания растений по критерию минимальных отклонений энергоэкологичности путем варьирования параметров облучения, условий окружающей среды и других факторов.

Комплексная реализация энергоэкологических технологий светокультуры позволит достичь расчетных показателей увеличения эффективности продукционного процесса, снижения энергоемкости при повышении качества продукции и обеспечении экологичности производства.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Сизов О.А. Перспективные пути применения энерго- и экологически эффективных машинных технологий и технических средств // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2013. Т. 7. №4. С. 8-11.
2. Гришин А.П., Гришин А.А., Гришин В.А. Результаты исследований влияния биоэнергетических факторов на повышение урожайности в растениеводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №2. С. 19-25.
3. Lansink A., Bezlepkin I. The effect of heating technologies on CO<sub>2</sub> and energy efficiency of Dutch greenhouse firms. *Journal of Environmental Management*. 2003. N68(1). 73-82.
4. Ракутько С.А., Ракутько Е.Н., Транчук А.С. Приме-

нение иерархической модели искусственной биоэнергетической системы для оценки экологичности и энергоэффективности светокультуры // *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2015. №40. С. 262-268.

5. Ракутько С.А. Энергоэкология светокультуры как новое актуальное научное направление // *Труды ГОСНИТИ*. 2016. Т. 124. №1. С. 138-141.

6. Ракутько С.А. Энергоэкологичность как свойство искусственной биоэнергетической системы светокультуры // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2018. №2(95). С. 77-89.

### REFERENCES

1. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Sizov O.A. Perspektivnyye puti primeneniya energo- i ekologicheskikh effektivnykh mashinnykh tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv [Promising ways of using energy- and environmentally efficient machine technologies and technical means]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2013. Vol. 7. №4. 8-11 (In Russian).
2. Grishin A.P., Grishin A.A., Grishin V.A. Rezul'taty issledovaniy vliyaniya bioenergeticheskikh faktorov na povyshe-nie urozhaynosti v rastenievodstve [Research results of the influence of bioenergy factors on yield increasing in crop production]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. №2. 19-25 (In Russian).
3. Lansink A., Bezlepkin I. The effect of heating technologies on CO<sub>2</sub> and energy efficiency of Dutch greenhouse firms. *Journal of Environmental Management*. 2003. N68(1). 73-82 (In English).
4. Rakut'ko S.A., Rakut'ko Ye.N., Tranchuk A.S. Primenenie

ierarkhicheskoy modeli iskusstvennoy bioenergeticheskoy sistemy dlya otsenki ekologichnosti i energoeffektivnosti svetokul'tury [Application of a hierarchical model of an artificial bioenergy system for assessing the environmental friendliness and energy efficiency of indoor plant lighting]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015. №40. 262-268 (In Russian).

5. Rakut'ko S.A. Energoekologiya svetokul'tury kak novoye aktual'noe nauchnoe napravlenie [Energy-and-ecology of indoor plant lighting as a new promising scientific direction]. *Trudy GOSNITI*. 2016. Vol. 124. №1. 138-141 (In Russian).

6. Rakut'ko S.A. Energoekologichnost' kak svoystvo iskusstvennoy bioenergeticheskoy sistemy svetokul'tury [Energy-and-ecology as a property of an artificial bioenergy system of indoor plant lighting]. *Tekhnologii i tekhnicheskiye sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktii rasteniyevodstva i zhivotnovodstva*. 2018. №2(95). 77-89 (In Russian).

**Конфликт интересов.** Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 17.11.2018  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 17.11.2018

Статья принята к публикации 28.11.2018  
The paper was accepted  
for publication on 28.11.2018

## Использование арахисового масла в качестве присадки к дизельному топливу

**Антон Владиславович Бижаев<sup>1</sup>,**

кандидат технических наук, ассистент кафедры,  
a.bizhaev@mail.ru;

**Сергей Николаевич Девянин<sup>1</sup>,**

доктор технических наук, профессор;

**Салим Соо<sup>2</sup>,**

аспирант;

**Валерий Михайлович Фомин<sup>3</sup>,**

доктор технических наук, профессор;

**Абдель Сатер Халиль Ибрагим<sup>2</sup>,**

кандидат технических наук, доцент;

**Александр Андреевич Ходяков<sup>2</sup>,**

кандидат технических наук, доцент

<sup>1</sup>Российский государственный аграрный университет–Московская сельскохозяйственная академия им. К.А. Тимирязева, Москва, Российская Федерация;

<sup>2</sup>Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация;

<sup>3</sup>Московский политехнический университет, Москва, Российская Федерация

**Реферат.** В рамках экологических требований к снижению токсичности отработанных газов двигателей внутреннего сгорания, в том числе тракторных и комбайновых дизелей, большое внимание уделяют различным способам снижения вредных веществ в продуктах сгорания топлива. Решается задача использования энергосберегающих ресурсов, в том числе возобновляемых источников энергии, различных альтернативных видов топлива. К ним относятся растительные масла сельскохозяйственных культур, в том числе арахисовое. *(Цель исследования)* Проанализировать свойства арахисового масла как добавки к дизельному топливу и оценить показатели работы дизеля на топливе с добавками арахисового масла. *(Материалы и методы)* Арахисовое масло отличается от дизельного топлива более высокой вязкостью и меньшей теплотой сгорания. В смесь дизельного топлива с арахисовым маслом добавляли керосин для компенсации этих недостатков. В холодных климатических условиях использование арахисового масла в чистом виде затруднено, так как для него температура помутнения составляет 3,3 градуса Цельсия, что на 20 градусов выше, чем у дизельного топлива. В смесевом составе температура помутнения топлива понижается, что позволяет использовать его в более холодных условиях. *(Результаты и обсуждение)* Провели исследование на тракторном двигателе Д-120 в паре с тормозной балансирной установкой без дополнительных регулировок двигателя. Получили характеристики двигателя при работе на топливе с добавкой арахисового масла. Сравнили результаты работы двигателя на чистом дизельном топливе и смесевом, выявили показатели эффективности работы и токсичности отработанных газов. *(Выводы)* Экспериментально доказали, что добавка арахисового масла к дизельному топливу сокращает удельный эффективный расход топлива, а также уменьшает выброс сажи и оксидов азота, при этом мощность двигателя снижается незначительно.

**Ключевые слова:** арахисовое масло, альтернативное топливо, присадка к дизельному топливу, возобновляемые источники энергии, тракторный дизель, биотопливо.

■ **Для цитирования:** Бижаев А.В., Девянин С.Н., Соо С., Фомин В.М., Ибрагим А.С.Х., Ходяков А.А. Использование арахисового масла в качестве присадки к дизельному топливу // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. №6. С. 45-50. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-6-45-50.

## Using Peanut Oil as a Fuel Additive in Tractor Diesel Engines

**Anton V. Bizhaev<sup>1</sup>,**

Ph.D.(Eng.), assistant professor, a.bizhaev@mail.ru;

**Sergey N. Devyanin<sup>1</sup>,**

Dr.Sc.(Eng.), professor;

**Salim Soo<sup>2</sup>,**

postgraduate student;

**Valery M. Fomin<sup>3</sup>,**

Dr.Sc.(Eng.), professor;

**Abdel Sater Khalil Ibrahim<sup>2</sup>,**

Ph.D.(Eng.), associate professor;

**Aleksandr A. Khodyakov<sup>2</sup>,**

Ph.D.(Eng.), associate professor

<sup>1</sup>Russian State Agrarian University–Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation;

<sup>2</sup>Russian University of Peoples' Friendship, Moscow, Russian Federation;

<sup>3</sup>Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation

**Abstract.** As part of the environmental requirements for reducing the toxicity of exhaust gases of internal combustion engines, including diesel engines of tractor and combine harvesters, great attention is paid to various ways of reducing harmful substances in the exhaust gases combustion products. The problem of using energy-saving resources, including renewable energy, various types of alternative fuels is currently solved. In several ways these include using vegetable oils from various agricultural crops, one of which is peanut oil. Its use can help to solve two urgent problems: reducing the toxicity of exhaust gases of internal combustion engines. (*Research objective*) To analyze the properties of peanut oil as an additive to diesel fuel and evaluate the performance of a diesel engine using this type of fuel. (*Materials and methods*) The properties of peanut oil differ from those of diesel fuel by higher viscosity and lower heat value. To compensate for these shortcomings, kerosene has been added to the mixture of diesel fuel with peanut oil. In cold climatic conditions, the use of pure peanut oil is difficult, since its cloud point is 3.3 degrees Celsius, which is 20 degrees higher than that of diesel fuel. In the blend composition, the cloud point of the fuel decreases, which makes it possible to use it in colder conditions. (*Results and discussion*) The authors have conducted a study on the tractor engine D-120 coupled with a brake balancer installation without additional engine adjustments. As a result, they have obtained the characteristics of the engine working on fuel with the addition of peanut oil. The authors have compared the results of the engine operation on pure and mixed diesel fuel, revealed indicators of operating efficiency and toxicity of exhaust gases. (*Conclusions*) It has been proved experimentally that the addition of peanut oil to diesel fuel leads to a decrease in the specific effective fuel consumption, and also reduces the emission of soot and nitrogen oxides, while the engine power decreases slightly.

**Keywords:** peanut oil, alternative fuel, diesel fuel additive, renewable energy sources, tractor diesel, biofuel.

**For citation:** Bizhaev A.V., Devyanin S.N., Soo S., Fomin V.M., Ibragim A.S.H., Khodyakov A.A. Ispol'zovanie arakhisovogo masla v kachestve prisadki k dizel'nomu toplivu [Using peanut oil as a fuel additive in tractor diesel engines]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. №6. 45-50. DOI 10.22314/2073-7599-2018-12-6-45-50 (In Russian).

**П**роблема снижения токсичности отработанных газов дизельных двигателей актуальна и в отрасли сельского хозяйства, так как данными типами двигателей оснащена основная масса тракторов, комбайнов и других мобильных машин. Известно, что воздействие токсичных компонентов на растения, в том числе сельскохозяйственные культуры, снижает темпы их роста и качественную ценность продуктов [1, 2].

Требования экологических стандартов во всем мире становятся все жестче, в связи с чем производители вынуждены использовать различные системы и технологии с целью снижения концентрации токсичных компонентов в отработанных газах (ОГ). К решению данной проблемы привлекают множество методов, количество и качество которых с течением времени возрастают. Чаще всего используют альтернативные виды топлива – как синтетического, так и органического происхождения. Предпочтение отдают природным видам топлива, таким как растительные масла, состоящие из триглицеридов жирных кислот и других вторичных компонентов, получаемых из различных сельскохозяйственных культур. Более распространены рапсовое, подсолнечное, соевое, пальмовое масла, относящиеся к возобновляемым источникам энергии. Высокие темпы производства наблюдаются для пальмового и соевого масла. Во многих странах, производящих эти масла, цена на них меньше, чем на нефтеродные виды топлива (бензин и дизельное топливо), их используют не только в качестве пищевой продукции, но и в виде добавок к тра-

диционному дизельному топливу или для полного его замещения.

Растительные масла решают две глобальные проблемы: снижение токсичности ОГ двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и производство возобновляемых источников энергии. Для регионов с жарким климатом приемлемы пальмовое и арахисовое масла. Основные производители пальмовых культур – Малайзия и Индонезия, а арахиса – Китай, Индия, страны Африки [3, 4].

Арахисовое масло в отличие от пальмового получило меньшее распространение как в пищевой промышленности, так и в качестве объекта для исследования альтернативного вида топлива, однако при сравнительно низкой цене в странах-производителях актуальность его использования оправдана. В настоящее время исследованиями этого вида масла как добавки в топливо занимались недостаточно. Для оценки возможности использования арахисового масла следует изучить его физические и химические свойства. На основании анализа выполняется ряд мероприятий, позволяющих дизельному двигателю полноценно функционировать при работе на арахисовом масле. Ниже приведены результаты экспериментов по использованию масла в качестве добавки к дизельному топливу, что позволяет сделать заключение о целесообразности использования арахисового масла в качестве добавки к топливу дизельного двигателя.

**Цель исследования** – проанализировать свойства арахисового масла как добавки к дизельному топливу и оценить показатели работы дизеля на



топливе с добавками арахисового масла.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** Различные виды масел характеризуются определенными физическими и химическими свойствами, которые зависят от их компонентного состава. Масло представляет собой по большей части один и тот же набор жирных кислот, отличающихся лишь процентным соотношением компонентов. В большинстве проведенных исследований наблюдается схожая тенденция изменения характеристик работы дизелей [5, 6].

Арахисовое масло по сравнению с дизельным топливом имеет большую вязкость и меньшую теплоту сгорания (табл.) [5, 7].

Сравнительно высокая вязкость арахисового масла влияет на изменение режима работы топливной аппаратуры и процесс смесеобразования в цилиндре двигателя. В первую очередь это связано со снижением утечек через прецизионно подобранные пары топливной аппаратуры, вследствие чего увеличится цикловая подача топлива, а следовательно, и характеристика давления его впрыскивания через форсунку. Для использования арахисового масла в чистом виде требуется принятие дополнительных мер, в том числе и регулировка топливной аппаратуры, что вносит определенные трудозатра-

ты. Проблему можно решить, снизив вязкость топлива различными способами, например, путем подогрева масла в топливной аппаратуре либо добавлением других компонентов. Последний способ наиболее прост в использовании, поэтому имеет смысл провести более подробные исследования.

Изучали некоторые свойства смесей дизельного топлива и арахисового масла с другими компонентами, в том числе вязкость (рис. 1). В качестве добавочного компонента выбрали керосин КО-25 (ТУ 38.401-58-10-01), свойства которого приведены в таблице. Его вязкость ниже арахисового масла в 2,25 раза при 20°C и в 1,55 раза – при 100°C, поэтому вязкость арахисового масла с добавлением керосина будет ниже, что дает возможность избежать дополнительных регулировок топливной аппаратуры.

Для дальнейшего исследования выбрали оптимальный состав: 29% дизельного топлива, 33% керосина, 38% арахисового масла. Плотность такого состава практически не отличается от плотности дизельного топлива (около 850 кг/м<sup>3</sup> при 15°C), а низшая теплота сгорания составит 40560 кДж/кг.

В состав арахисового масла в отличие от дизельного топлива входит кислород, что повышает ка-

Таблица

Table

**ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА\***  
**PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF SOME FUEL TYPES\***

| Физико-химические свойства<br>Physical and chemical properties                                  | Тип топлива / Fuel type |       |             |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------|-------------|-------|
|                                                                                                 | ДТ                      | АМ    | АМ+ДТ 50/50 | КО    |
| Плотность при 15 °С, кг/м <sup>3</sup><br>Density at 15 °C, kg/m <sup>3</sup>                   | 832,4                   | 917,3 | 877,7       | 810,5 |
| Вязкость кинематическая, мм <sup>2</sup> /с при:<br>Kinematic viscosity, mm <sup>2</sup> /s at: |                         |       |             |       |
| 20°C                                                                                            | 4,10                    | 78,0  | 20,0        | 1,82  |
| 40°C                                                                                            | 2,60                    | 12,3  | 9,27        | 1,34  |
| 100°C                                                                                           | 1,10                    | 9,36  | 4,87        | 0,71  |
| Массовое содержание, %<br>Mass content, %                                                       |                         |       |             |       |
| С                                                                                               | 86,6                    | 78,0  | 82,1        | 85,8  |
| Н                                                                                               | 13,4                    | 12,3  | 12,8        | 14,2  |
| О                                                                                               | 0                       | 9,36  | 4,91        | 0     |
| Соотношение атомов О/С<br>The ratio of atoms O/C                                                | 0                       | 0,090 | 0,047       | 0     |
| Содержание атомов Н/С<br>Content of atoms H/C                                                   | 1,84                    | 1,88  | 1,86        | 1,98  |
| Теплота сгорания, кДж/кг:<br>Heat of combustion, kJ/kg:                                         |                         |       |             |       |
| низшая / lower                                                                                  | 42967                   | 37023 | 39829       | 42900 |
| высшая / higher                                                                                 | 45776                   | 39638 | 42558       | 43100 |
| Цетановое число<br>Cetane number                                                                | 50,8                    | 36,6  | 55,9        | 38    |
| Температура помутнения, °С<br>Cloud point, °C                                                   | -17,8                   | 3,3   | -           | -15   |

\* ДТ – дизельное топливо, АМ – арахисовое масло, КО – осветительный керосин (КО-25)

\* DT – diesel fuel, AM – peanut oil, KO – lighting kerosene (KO-25)

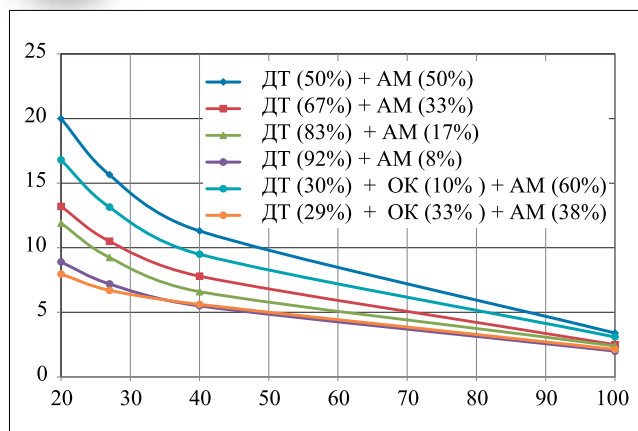


Рис. 1. Исследуемые смеси с добавками арахисового масла: ДТ – дизельное топливо; АМ – арахисовое масло; КО – осветительный керосин (КО-25)

Fig. 1. The studied mixture with additives of peanut oil:

DT – diesel fuel; AM – peanut butter; KO – lighting kerosene (KO-25)

чество его сгорания. Однако сравнительно высокая вязкость масла изменит характер смесеобразования в топливной струе, а низкое цетановое число смеси приведет к ухудшению тепловыделения и задержке момента воспламенения смеси. Это свойственно и другим видам растительных масел, чир проявляется в ухудшении эффективных характеристик топлива, повышении содержания продуктов неполного сгорания, снижении концентрации сажи и оксидов азота [8, 9].

В холодных климатических условиях использование арахисового масла в чистом виде затруднено, так как для него температура помутнения составляет 3,3°C, что на 20°C выше, чем для дизельного топлива. В выбранном смесевом составе температура помутнения топлива понижается, что позволяет использовать его в более холодных условиях.

По данным других исследований, чистое арахисовое масло дает смолистые отложения на распылителе форсунок, но при его использовании в качестве добавки к дизельному топливу и керосину эффект уменьшается. Его можно снизить также подогревом топлива до его подачи в топливную аппаратуру, предварительной очисткой или за счет использования специальных присадок [10].

В соответствии с выбранным оптимальным составом топлива сформировали программу испытаний работы дизельного двигателя.

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** Экспериментальное исследование проводили на базе лабораторной установки, состоящей из двухцилиндрового дизельного двигателя Д-120 номинальной мощностью  $N_e = 18$  кВт, работающего в паре с электрической тормозной балансирной машиной мощностью 125 кВт, с весовым механизмом.

Показатели токсичности фиксировал 5-компонентный газоанализатор, а концентрацию сажи – сажемер фильтрующего типа.

В программу испытаний входило снятие нагрузочных характеристик двигателя при частоте вращения коленчатого вала  $n = 1800$  мин<sup>-1</sup>, причем фиксировали эффективные характеристики работы дизеля, а также показатели токсичности его ОГ. Использовали традиционное дизельное и смесевое топливо оптимального состава (29% дизельного топлива, 33% осветительного керосина и 38% арахисового масла).

В ходе эксперимента с тракторным дизелем Д-120 зафиксировали характеристики содержания оксидов азота  $NO_x$  и сажи  $C$  в ОГ, которые представляют собой основные токсичные компоненты дизельного выхлопа, определяющие общую экологическую эффективность двигателя (рис. 2).

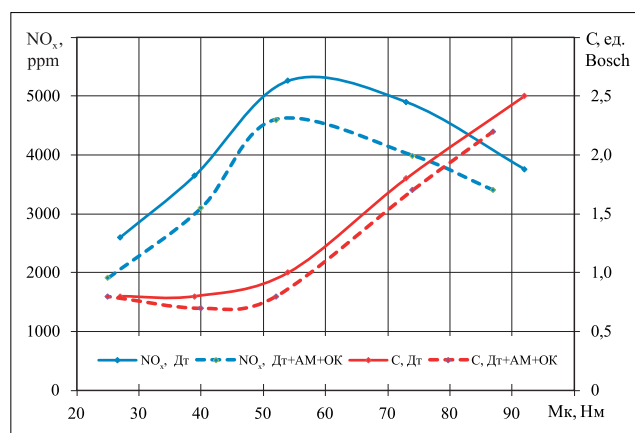


Рис. 2. Нагрузочная характеристика двигателя Д-120, зависимость содержания оксидов азота  $NO_x$  и сажи  $C$  в ОГ от нагрузки двигателя  $M_k$

Fig. 2. Load characteristics of the D-120 engine, the dependence of the content of nitrogen oxides  $NO_x$  and soot  $C$  in the exhaust gas from the engine load  $M_k$

При работе двигателя на традиционном дизельном топливе установлено, что при нагрузках от 26 Нм до 55-60 Нм концентрация оксидов азота  $NO_x$  возрастает с 2600 до 5400 ppm, затем плавно снижается до 3850 ppm. Аналогично ведет себя смесевое топливо с содержанием арахисового масла 38%. С увеличением нагрузки до 55 Нм концентрация оксидов азота растет с 1950 до 4600 ppm, потом снижается до 3400 ppm.

Доля содержания  $NO_x$  на всей протяженности работы двигателя на комплексной смеси с арахисовым маслом ниже на 500-900 ppm, или 10-25% по сравнению с работой двигателя на чистом дизельном топливе.

При работе двигателя на топливе с содержанием арахисового масла 38% концентрация сажи на низких нагрузках 25-50 Нм остается практически

неизменной и находится на уровне 0,6-0,7 ед. *Bosch*, а при работе двигателя на чистом дизельном топливе – 0,7-0,8 ед. *Bosch*. С увеличением нагрузки до максимальной при работе на смеси с арахисовым маслом концентрация сажи  $C$  равномерно растет до 2,2 ед. *Bosch*, а на дизельном топливе – до 2,5 ед. *Bosch*.

По построенным характеристикам определили, что при добавках арахисового масла 38% содержание сажи ниже на 0,2-0,3 ед. *Bosch* в диапазоне нагрузок от 35 Нм до максимальных, по сравнению с чистым дизельным топливом. На низких нагрузках (около 26 Нм) изменения по выбросу сажи незначительны и находятся в пределах погрешности измерений.

Схожая тенденция изменения сажи при использовании растительных масел в качестве топлив была отмечена и в других исследованиях [10].

При подаче смесового топлива зафиксировано повышение удельного эффективного расхода  $g_e$  на всей длине характеристики (рис. 3).

На максимальной нагрузке величина  $g_e$  повышается с 260 до 280 г/кВт·ч, или на 6,2%. На режимах средних и низких нагрузок  $M_k = 50-70$  Нм и ниже кривая  $g_e$  ведет себя так же, то есть на 6-8% выше для смесового топлива и составляет максимум 430 г/кВт·ч по сравнению с 370 г/кВт·ч для чистого дизельного топлива.

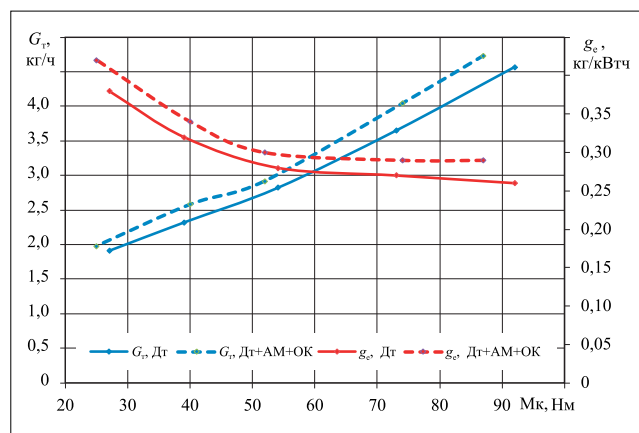


Рис. 3. Нагрузочная характеристика двигателя Д-120; зависимость удельного эффективного расхода топлива  $g_e$  и часового расхода топлива  $G_t$  от нагрузки двигателя  $M_k$

Fig. 3. Load characteristics of the D-120 engine; Dependence of specific effective fuel consumption  $g_e$  and hourly fuel consumption  $G_t$  on engine load  $M_k$

Часовой расход  $G_t$  топлива, содержащего 38% арахисового масла, на всем диапазоне нагрузок возрастает на 8-10%, или на 0,2-0,3 кг/ч по сравнению

с работой двигателя на чистом дизельном топливе. Данный эффект можно объяснить снижением утечек через прецизионные пары топливной аппаратуры, так как арахисовое масло обладает большей вязкостью, чем дизельное топливо, вследствие чего цикловая подача смеси увеличивается.

При использовании в качестве топлива смеси состава: 29% дизельного топлива, 38% арахисового масла и 33% осветительного керосина на всех нагрузочных режимах наблюдается снижение максимальной нагрузки на двигатель на 5%, что объясняется более низкой теплотой сгорания смесового топлива по сравнению с чистым дизельным.

Доля содержания продуктов неполного сгорания при этом повысилась незначительно, объемная доля содержания монооксидов углерода  $CO$  выросла максимум на 0,1% в абсолютных единицах, и концентрация углеводородов  $CH$  увеличилась максимум на 20 ppm.

### Выводы

Экспериментально показали, что свойства арахисового масла влияют на процесс топливоподачи испытуемой топливной смеси. Это подтверждает и увеличение расхода топлива на 8-10% при 38% добавке арахисового масла. Максимальная нагрузка двигателя снижается на 5% ввиду меньшей теплоты сгорания по сравнению с дизельным топливом.

Определили, что добавка арахисового масла объемной долей 38% снижает удельный эффективный расход топлива тракторного дизеля Д-120 на 6-8%.

Экспериментом установлено снижение концентрации оксидов азота  $NO_x$  на 10-25% на всем протяжении нагрузочной характеристики при добавке 38% арахисового масла в общую смесь, что может быть связано со снижением максимальных температур при сгорании топлива.

Выбросы сажи  $C$  при работе двигателя на нагрузках 30 Нм и выше снижаются на 0,2-0,3 ед. *Bosch*, и максимум – на 25% в районе средних нагрузок.

Результаты, полученные в ходе эксперимента, подобны аналогичным исследованиям работы дизелей на растительных маслах в качестве топлива или их добавок, и не противоречат общей научной концепции.

Учитывая полученные экспериментальные данные, сравнительно низкую стоимость арахиса в регионах возделывания этой культуры и тенденцию к производству возобновляемых источников энергии, в ближайшей перспективе арахисовое масло может использоваться как добавка к топливу тракторных дизелей.



### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Савельев Г.С., Борисочкина Т.И., Шапкайц А.Д. Влияние выхлопных газов дизельных двигателей на растения. *Земледелие*. 1995. N4. С. 15.
2. Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И. Токсичность отработавших газов дизелей. Уфа: Изд-во башкирского государственного аграрного университета. 2000. 144 с.
3. Марков В.А., Девянин С.Н., Зыков С.А., Гайдар С.М. Биотоплива для двигателей внутреннего сгорания. М.: НИЦ «Инженер» (Союз НИО), 2016. 292 с.
4. О'Брайен Р. Жиры и масла. Производство, состав и свойства, применение: пер. с англ. 2-е изд. СПб.: Профессия. 2007. 752 с.
5. Rashid M.M. Performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with palm, jatropha and moringa oil methyl ester. *Industrial crops and products*. 2016. N79. 70-75.
6. Mosarof M.H., Kalam M.A., Masjuki H.H. Implementation of Palm biodiesel based on economic aspects, performance, emission, and wear characteristics. *Energy conversion and Management*. 2015. N105. 617-629.
7. Шкаликова В.Н., Патрахальцев Н.Н. Применение нетрадиционных топлив в дизелях. М.: Изд-во Российского университета дружбы народов. 1993. 64 с.
8. Barsic N.J., Humke A.L. Vegetable oils: diesel fuel supplements? *Automotive Engineering*. 1981. Vol. 89. N4. 37-41.
9. Barsic N.J., Humke A.L. Performance and emissions characteristics of a naturally aspirated diesel engine with vegetable oil fuels. *SAE Technical Paper Series*. 1981. N810262. 1-10.
10. Ziejewski M., Kaufman K.R., Tupa R.C. Laboratory endurance testing of a 25/75 sunflower oil-diesel fuel blend treated with fuel additives. *SAE Technical Paper Series*. 1984. N840236. 1-10.

### REFERENCES

1. Savelyev G.S., Borisochkina T.I., Shapkaits A.D. Vliyanie vykhlopykh gazov dizel'nykh dvigateley na rasteniya [Effect of diesel exhaust on plants]. *Zemledeliye*. 1995. N4. 15 (In Russian).
2. Markov V.A., Bashirov R.M., Gabitov I.I. Toksichnost' otrabotavshikh gazov dizeley [Toxicity of exhaust gases of diesel engines]. Ufa: Izd-vo bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2000. 144 (In Russian).
3. Markov V.A., Devyanin S.N., Zykov S.A., Gaydar S.M. Biotopliva dlya dvigateley vnutrennego sgoraniya [Biofuels for internal combustion engines]. Moscow: NITS "Inzhener" (Soyuz NIO). 2016. 292 (In Russian).
4. O'Brayyen R. Zhiry i masla. Proizvodstvo, sostav i svoystva, primeneniye: per. s angl [Fats and oils. Production, composition and properties, application: translated from English]. 2nd ed. SPb.: Professiya. 2007. 752 (In Russian).
5. Rashid M.M. Performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with palm, jatropha and moringa oil methyl ester. *Industrial crops and products*. 2016. N79. 70-75. (In English).
6. Mosarof M.H., Kalam M.A., Masjuki H.H. Implementation of Palm biodiesel based on economic aspects, performance, emission, and wear characteristics. *Energy conversion and Management*. 2015. N105. 617-629 (In English).
7. Shkalikova V.N., Patrakhal'tsev N.N. Primeneniye netraditsionnykh topliv v dizelyakh [The use of unconventional fuels in diesel engines]. Moscow: Izd-vo Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. 1993. 64 (In Russian).
8. Barsic N.J., Humke A.L. Vegetable oils: diesel fuel supplements? *Automotive Engineering*. 1981. Vol. 89. N4. 37-41 (In English).
9. Barsic N.J., Humke A.L. Performance and emissions characteristics of a naturally aspirated diesel engine with vegetable oil fuels. *SAE Technical Paper Series*. 1981. N810262. 1-10 (In English).
10. Ziejewski M., Kaufman K.R., Tupa R.C. Laboratory endurance testing of a 25/75 sunflower oil-diesel fuel blend treated with fuel additives. *SAE Technical Paper Series*. 1984. N840236. 1-10 (In English).

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

Статья поступила в редакцию 19.10.2018  
The paper was submitted  
to the Editorial Office on 19.10.2018

Статья принята к публикации 16.11.2018  
The paper was accepted  
for publication on 16.11.2018



## ПЕРЕЧЕНЬ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В 2018 ГОДУ

## 1

**Измайлов А.Ю., Рожин В.Ф., Шилова Е.П., Иванов М.В., Кынев Д.Н.**

Обоснование уборочно-транспортных процессов в селекционных технологиях ..... 4

**Альт В.В.**

Совокупность информационных технологий и их роль в автоматизации сельскохозяйственного производства ..... 9

**Кутырев А.И., Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Смирнов И.Г., Вершинин Р.В.**

Система автоматизированного управления параметрами агрегата магнитноимпульсной обработки растений в садоводстве ..... 16

**Павлов С.А., Левина Н.С., Лукин И.Д.**

Исследование сушки селекционных семян в плотном слое ..... 22

**Jević P., Šedivá Z.**

Test of used certified biofuels and their blends with diesel fuel of tractors in conditions of agricultural practice ..... 27

**Шило И.Н., Романюк Н.Н., Орда А.Н., Нукушев С.О., Кушнир В.Г.**

Влияние многоосной ходовой системы машинно-тракторных агрегатов на плотность почвы ..... 31

**Рубцов И.В., Русанова О.Г., Годжаев З.А.**

Использование технологий специального назначения в сельскохозяйственной робототехнике ..... 37

**Савельев Ю.А., Кухарев О.Н., Ларюшин Н.П., Ишкин П.А., Добрынин Ю.М.**

Снижение потерь почвенной влаги на испарение ..... 42

## 2

**Жалнин Э.В., Ценч Ю.С., Пьянов В.С.**

Методика анализа технического уровня зерноуборочных комбайнов по функциональным и конструктивным параметрам ..... 4

**Голубкович А.В., Лукин И.Д.**

Периодическая сушка зерна повышенной влажности ..... 9

**Забродин В.П., Бутенко А.Ф., Суханова М.В., Чепцов С.М.**

Исследование ударного воздействия механического устройства на семена озимой пшеницы ..... 14

**Гришин А.П., Гришин А.А., Гришин В.А.**

Результаты исследований влияния биоэнергетических факторов на повышение урожайности в растениеводстве ..... 19

**Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И.**

Оптимальный профиль передней поверхности чизельного рабочего органа ..... 26

**Умаров Р.Д., Магомедов Ф.М., Меликов И.М., Салатова Д.А., Сенькевич С.Е.**

Широкозахватный опрыскиватель с гибким отводом и летательными аппаратами для обработки посевов риса ..... 31

**Шило И.Н., Романюк Н.Н., Орда А.Н., Нукушев С.О.**

Влияние распределения нагрузки по осям машинно-тракторных агрегатов на глубину следа ..... 38

**Ахметов А.А., Усманов И.И.**

Силовые нагрузки, действующие в кинематических парах механизма изменения базы трактора ..... 44

## 3

**Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Хорошенков В.К., Смирнов И.Г., Гончаров Н.Т., Лужнова Е.С.**

Оптимизация управления технологическими процессами в растениеводстве ..... 4

**Черников В.Г., Романенко В.Ю.**

Определение связи лент льнотресты со стлищем при подборе их пальцами подбирающего аппарата ..... 12

**Астафьев В.Л., Жалнин Э.В.**

Оценка эффективности зерноуборочных комбайнов различных классов в условиях Северного Казахстана ..... 17

**Кубеев Е.И., Антропов Б.С.**

Декомпозиция технологических процессов для оценки эффективности функционирования поточной линии по предпосевной обработке семян ..... 22

**Сибирев А.В., Аксенов А.Г., Дорохов А.С.**

Уточненный расчет сепарирующей поверхности машины для уборки лука ..... 28

**Кондратьева Н.П., Корепанов Р.И., Ильясов И.Р., Большин Р.Г., Краснолуцкая М.Г., Сомова Е.Н., Маркова М.Г.**

Эффективность микропроцессорной системы автоматического управления работой светодиодных облучательных установок ..... 32

**Сыромятников Ю.Н.**

Показатели качества работы почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины ..... 38

**Несмиян А.Ю., Ценч Ю.С.**

Тенденции и перспективы развития отечественной техники для посева зерновых культур ..... 45

**4**
**Личман Г.И., Белых С.А., Марченко А.Н.**

Способы внесения удобрений в системе точного земледелия . . . 4

**Астафьев В.Л., Голиков В.А.**

 Обоснование типажа зерноуборочных комбайнов и жаток,  
применяемых в регионах Казахстана . . . . . 10

**Савиных П.А., Сычугуев Ю.В., Казаков В.А.**

 Фракционная технология и устройства послеуборочной  
обработки и переработки зерна плющением . . . . . 16

**Левина Н.С., Тертышная Ю.В., Бидей И.А., Елизарова О.В.**

 Предпосевная обработка семян подсолнечника, сои и  
кукурузы низкочастотным электромагнитным излучением . . . . 22

**Новиков Э.В., Басова Н.В., Безбабченко А.В.**

 Анализ экономических показателей линий для переработки  
масличного льна . . . . . 35

**Лискин И.В., Лобачевский Я.П., Миронов Д.А.,  
Сидоров С.А., Панов А.И.**

 Результаты лабораторных исследований почворезущих  
рабочих органов. . . . . 41

**Василенко В.В., Василенко С.В., Борзило В.С.**

Зона рыхления почвы культиваторной лапой . . . . . 48

**Жук А.Ф., Сохт К.А.**

Размещение сферических дисков фронтальных борон . . . . . 53

**5**
**Измайлов А.Ю., Хорт Д.О., Филиппов Р.А.,  
Кутырев А.И., Смирнов И.Г.**

 Анализ работы автоматизированного агрегата  
для магнитно-импульсной обработки земляники садовой  
в полевых условиях . . . . . 4

**Лебедев А.Т., Искендеров Р.Р., Шумский А.С.**

 Обоснование конструктивных параметров горизонтального  
роторного агрегата для дробления фуражного зерна . . . . . 9

**Алакин В.М., Никитин Г.С.**

 Результаты исследований технологического процесса  
картофелекопателя . . . . . 14

**Есхожин Д.З., Нукешев С.О., Личман Г.И.,  
Ахметов Е.С., Есхожин К.Д.**

 Обоснование параметров лепесткового ворошителя  
высевающего устройства зернотукотравяной сеялки . . . . . 20

**Арженовский А.Г., Козлов Д.С., Петрищев Н.А.**

 Метод получения тяговой характеристики трактора  
в эксплуатационных условиях . . . . . 25

**Марченко Л.А., Сафонов М.А.**

 Обоснование конструктивно-технологических параметров  
инжекторного распылителя . . . . . 31

**Лобачевский Я.П., Павлов С.А.**

Инфракрасная сушка семян в псевдоожиженном слое . . . . . 39

**Ключников А.С.**

 Определение производительности модулей нового  
универсального сушильного агрегата . . . . . 44

**6**
**Утениязов П.А.**

 Теоретическое исследование взаиморасположения рабочих  
органов комбинированного агрегата . . . . . 4

**Гасанов У.Р., Магеррамова С.А.**

 Эффективность работы энергосберегающей  
мини-зерносушилки с комбинированной системой  
теплоснабжения . . . . . 9

**Зволинский В.Н., Мосяков М.А.**

Автоматизация управления работой садовой фрезы . . . . . 15

**Крюков М.Л., Пышкин В.К., Чулков А.С., Власова С.В.,  
Иванов М.В., Степанов К.А.**

 Контейнерная поточно-транспортная технология заготовки  
селекционного зерна . . . . . 20

**Павлов С.А., Пехальский И.А., Кынев Н.Г.**

Исследования комбинированных режимов СВЧ-сушки зерна . . 25

**Михеев В.В., Еремин П.А., Зернов В.Н., Петухов С.Н.**

 Механизация в технологиях семеноводства  
корнеплодов . . . . . 31

**Ракутько С.А.**

Концептуальные основы энергоэкологии светокультуры . . . . 38

**Бижаев А.В., Соо С., Фомин В.М., Ибрагим А.С.Х.,  
Девянин С.Н., Ходяков А.А.**

 Использование арахисового масла в качестве присадки  
к дизельному топливу . . . . . 45





## НОВЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Журнал «Сельскохозяйственные машины и технологии» входит в Перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ для публикации трудов соискателей ученых степеней кандидата и доктора наук.

Журнал включен в систему Российского индекса цитирования и в Международную информационную систему по сельскому хозяйству AGRIS. Электронные версии журнала размещаются на сайте Российской универсальной научной электронной библиотеки.

Статьи, направляемые в журнал для публикации, должны соответствовать основной тематике журнала.

Статьи, поступившие в редакцию, проходят двойное слепое рецензирование. Отрицательная рецензия является основанием для отказа в публикации.

Редакция принимает рукописи и электронные версии статей, **набранные в Word шрифтом 14 пт. через 1,5 интервала, не более 12 страниц.**

Приведенные в статье формулы должны иметь пояснения и расшифровку всех входящих в них величин с указанием единиц измерения в СИ. Графические материалы должны быть приложены в виде отдельных файлов: фотографии – *jpg* или *tif* с разрешением *300 dpi*, графики, диаграммы – в *eps* или *ai*. Все графические материалы, рисунки и фотографии должны быть пронумерованы, подписаны и иметь ссылку в тексте.

Простые 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);
- e-mail автора, контактный телефон;

- место работы автора(ов) (аббревиатуры не допускаются), почтовый адрес;
- ученая степень, ученое звание автора;
- реферат (объем 200-250 слов);
- ключевые слова;
- библиографический список.

**Статью следует структурировать, обязательно указав следующие разделы:**

- Введение (актуальность);
- Цель исследований;
- Материалы и методы;
- Результаты и обсуждение;
- Выводы.

Списки литературы (до 10 источников за последние 5 лет) следует оформлять по ГОСТ Р 7.05-2008.

### Реферат

Реферат – это самостоятельный законченный материал. Вводная часть минимальна. Нужно коротко и емко отразить актуальность и цель исследований, условия и схемы экспериментов, привести полученные результаты (с обязательным аргументированием на основании цифрового материала), сформулировать выводы.

*Объем реферата – 200-250 слов.*

Нельзя использовать аббревиатуры и сложные элементы форматирования (например, верхние и нижние индексы).

### На английский язык следует перевести:

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

**Машинный перевод недопустим!**

Рукопись статьи должна быть подписана лично авторами. Автор несет юридическую и иную ответственность за содержание статьи.

Несоответствие статьи хотя бы одному из перечисленных условий может служить основанием для отказа в публикации.

# ПОДПИСКА 2019

**КАК  
подписаться  
на журнал?**



## ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

Подписку на второе полугодие 2019 г. можно оформить

до 20 июня включительно

в почтовых отделениях связи

по каталогу агентства «РОСПЕЧАТЬ»

Подписной индекс **35825**

**ЖУРНАЛ**

**«СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ МАШИНЫ И ТЕХНОЛОГИИ»**

**ВКЛЮЧЕН В ПЕРЕЧЕНЬ ВАК**

Редакция журнала:

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

[www.vimsmit.com](http://www.vimsmit.com)

e-mail: [smit@vim.ru](mailto:smit@vim.ru)