



ISSN 2073-7599

Сельскохозяйственные МАШИНЫ и ТЕХНОЛОГИИ

№ 3 2017

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКОЙ

БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ
В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ



ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ АГРОИНЖЕНЕРНЫЙ ЦЕНТР ВИМ **НОВЕЙШАЯ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНАЯ ТЕХНИКА**

Многоцелевое автоматизированное высококлиренсное энергосредство
с интеллектуальной системой управления



Разработано ВИМ



Высоклиренсное энергетическое средство с гидрофицированным роторным рыхлителем для междурядной обработки почвы



Высоклиренсное энергетическое средство с пропашным культиватором для междурядной обработки почвы



Адаптивная высокоточная машина экологически безопасного внесения жидких минеральных удобрений и химических средств защиты насаждений в приствольную зону с микропроцессорным пультом управления



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.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

В.А. Колесникова,
канд. техн. наук, заслуженный
работник сельского хозяйства РФ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ:

В.В. Альт, академик РАН,
М.Н. Ерохин, академик РАН,
Ю.А. Иванов, академик РАН,
А.Ю. Измайлов, академик РАН,
И.М. Куликов, академик РАН,
Ю.Ф. Лачуга, академик РАН,
Я.П. Лобачевский, член-корр. РАН,
В.Д. Попов, академик РАН,
Д.С. Стребков, академик РАН,
В.И. Черноиванов, академик РАН,

ИНОСТРАННЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

Х.И. Белоев, член-корр. БАН
Болгария, Русе
В.И. Кравчук, член-корр. НААН
Украины, Киев
А.Мачалек, к.т.н., НИИСТ,
Чехия, Прага
Т.Павловски, д.т.н., проф., ПИМР,
Польша, Познань
Ж.С. Садыков, д.т.н., проф.,
Казахстан, Алматы
С.Г. Яковчик, к.с.-х.н., НПЦ НАН
Беларуси, Минск

НАД НОМЕРОМ РАБОТАЛИ:

В.В. Бижаев
С.В. Гришуткина
Р.М. Нурбаганова

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

109428, Москва,
1-й Институтский проезд, 5
Телефоны: (499) 174-88-11
(499) 174-89-01
E-mail: smit@vim.ru

**Журнал включен в перечень изданий, рекомендованных ВАК РФ
для публикации трудов соискателей ученых степеней кандидата и доктора наук**

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ И ИНФОРМАТИКА

**Измайлов А.Ю., Хорошенков В.К., Колесникова В.А.,
Алексеев И.С., Лонин С.Э., Гончаров Н.Т.**

Средства автоматизации для управления сельскохозяйственной
техникой 3

**Смирнов И.Г., Марченко Л.А., Личман Г.И., Мочкова Т.В.,
Спиридонов А.Ю.**

Беспилотные летательные аппараты для внесения пестицидов и
удобрений в системе точного земледелия 10

**Марченко Л.А., Личман Г.И., Смирнов И.Г., Мочкова Т.В.,
Колесникова В.А.**

Дифференцированное внесение удобрений и пестицидов
с использованием беспилотных летательных аппаратов 17

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И.

Расчет параметров вырезного почвообрабатывающего диска 24

Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Кутырёв А.И.

Моделирование и анализ конструкции технологического адаптера
для магнитно-импульсной обработки растений в садоводстве 29

Фирсов А.С., Голубев В.В., Кудрявцев А.В., Сафонов М.А.

Испытания пневматического высевающего аппарата для льна
на базе блочно-модульного комбинированного адаптера 35

НАУКА ПРОИЗВОДСТВУ

Бейлис В.М.

Оценка материально-технических ресурсов технологий
производства сельскохозяйственных культур 39

НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ

Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С.

Программы подготовки магистров в системе научных учреждений .. 45

*Журнал включен в список периодических изданий
Международной базы данных AGRIS*

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). Полные тексты
статей размещены на сайте электронной научной библиотеки: elibrary.ru



The journal is registered by Federal Agency of supervision of legislation observance of mass communications sphere and cultural heritage protection

Certificate ПИ № ФС77-68608
from February, 3rd, 2017

EDITOR-IN-CHIEF
Kolesnikova V.A.

EDITORIAL BOARD:

Al't V.V. – member of RAS
Erokhin M.N. – member of RAS
Ivanov Yu.A. – member of RAS
Izmaylov A.Yu. – member of RAS
Lachuga Yu.F. – member of RAS
Lobachevskiy Ya.P. – corr.member of RAS,
Popov V.D. – member of RAS
Strebkov D.S. – member of RAS
Chernoivanov V.I. – member of RAS

EDITORIAL BOARD
FOREIGN MEMBERS:

Beloev H.I. – corr.member of BAS,
Bulgaria, Ruse
Kravchuk V.I. – corr.member of NAAS
of Ukraine, Kiev
Machalek A. – Ph.D.(Eng.), VUZT,
Chechia, Prague
Pavlovski T. – D.Sc.(Eng.), prof., PIMR
Poland, Poznan
Sadykov Zh.S. – D.Sc.(Eng.), prof.,
Kazakhstan, Almaty
Yakovchik S.G. – Ph.D.(Agr.), SPC of NAS
of Belarus, Minsk

THEY WORKED
WITH JOURNAL ISSUE:
Bizhaev V.V.
Grishutkina S.V.
Nurbagandova R.M.

EDITORS OFFICE'S ADDRESS
109428, Moscow,
1st Institutskiy proezd, 5
Tel.: +7 (499) 174-88-11
+7 (499) 174-89-01
E-mail: smit@vim.ru

Printed by FSAC VIM
Russian Academy of Science

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

The format is 205 × 290 mm
Passed for printing 15.05.2017
The circulation is 500 copies

[SEL'SKOKHOZYAYSTVENNYE MASHINY I TEKHNologii]

Founder and publisher: Federal State Budgetary Scientific Institution
«Federal Scientific Agroengineering Center VIM» of Russian Academy of Science

CONTENTS

AUTOMATION & INFORMATICS

**Izmaylov A.Yu., Khoroshenkov V.K., Kolesnikova V.A., Alekseev I.S.,
Lonin S.E., Goncharov N.T.**

Automation facilities for agricultural machinery control 3

**Smirnov I.G., Marchenko L.A., Lichman G.I., Mochkova T.V.,
Spiridonov A.Yu.**

Unmanned aerial vehicles for pesticides and fertilizers application in
precision farming system 10

**Marchenko L.A., Lichman G.I., Smirnov I.G., Mochkova T.V.,
Kolesnikova V.A.**

Variable rate application of fertilizers and pesticides using unmanned
aerial vehicles 17

NEW TECHNIQS AND TECHNOLOGIES

Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I.

Determination of cutting tillage disk parameters 24

Khort D.O., Filippov P.A., Kuttyrev A.I.

Model-based analysis of construction design of technological adapter
for magnetic-pulse processing of plants in horticulture 29

Firsov A.S., Golubev V.V., Kudryavtsev A.V., Safonov M.A.

Tests of pneumatic sowing device for flax on basis of modular
combined adapter 35

SCIENCE FOR PRODUCTION

Beylis V.M.

Assessment of material and technical resources of crop production
technologies 39

SCIENCE AND EDUCATION

Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S.

Magistr's programs in scientific institutions system 45

*The journal is included in the periodical editions list
of the International data base AGRIS*

Редакция журнала не несет ответственности за информацию, содержащуюся в статье.
Перепечатка материалов, опубликованных в журнале, допускается только с разрешения редакции.

УДК 631.152:004.8

DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-3-3-9

СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКОЙ

Измайлов А.Ю.,
докт. техн. наук, академик РАН;
Хорошенков В.К.,
канд. техн. наук;

Колесникова В.А.,
канд. техн. наук;
Алексеев И.С.*;

Лонин С.Э.;
Гончаров Н.Т.

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Российская Федерация, *e-mail: vim-avt@rambler.ru

Исследована возможность применения средств автоматизации для управления сельхозтехникой. Предложены решения по созданию централизованной унифицированной автоматизированной информационной системы управления мобильными агрегатами. Отмечено, что исходя из современных требований эта система должна быть открытой, интегрированной в общую схему управления сельскохозяйственным предприятием. Она должна реализовать идею применения стандартных аппаратных, программных и коммуникационных средств в задачах контроля и управления. Поэтому схема должна строиться на унифицированных модулях и тех стандартах, что освоены в России. Показано, что, базируясь на блочно-модульном построении, комплексная многомерная унифицированная автоматизированная система управления различными объектами сельскохозяйственного назначения должна соответствовать следующим принципам: высокая надежность, простота обслуживания, низкие издержки при эксплуатации, быстрая окупаемость, связанная с увеличением урожайности, сниженные потери при уборке, послеуборочной обработке и хранении, улучшенные энергетические показатели. Установлено, что управление технологическими процессами в сельхозпроизводстве осуществляется в основном с обратной связью. Пример без обратной связи – это программное управление температурой в хранилище при режиме «охлаждение». Обратная связь в управлении технологическими процессами сельхозпроизводства позволяет оптимально решить проблему рационального распределения функций в человеко-распределенных системах и сформировать интеллектуальные эргономические интерфейсы, согласованные с профессиональными представлениями лиц, принимающих решения. Отрицательная обратная связь, создаваемая устройством управления, позволяет автоматически поддерживать показатель качества технологического процесса на заданном уровне. Количественный анализ производственной ситуации опирается на глубоко формализованную базу вычислительной техники, что способствует выработке оптимального решения. Показано, что применение информационной автоматизированной системы управления увеличивает производительность труда на 40 процентов, уменьшает энергетические затраты на 25 процентов. Повышение качества выполняемых технологических операций позволит увеличить урожайность в 1,2-1,3 раза.

Ключевые слова: средства автоматизации, автоматизированный контроль и управление, технологические процессы, сельскохозяйственная продукция.

■ **Для цитирования:** 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. №3. С. 3-9.

AUTOMATION FACILITIES FOR AGRICULTURAL MACHINERY CONTROL

Izmaylov A.Yu.,
D.Sc.(Eng.),
member of RAS;

Khoroshenkov V.K.,
Ph.D.(Eng.);
Kolesnikova V.A.,
Ph.D.(Eng.);

Alekseev I.S.*;
Lonin S.E.;
Goncharov N.T.

Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM, 1st Institutskiy proezd, 5, Moscow, 109428, Russian Federation, *e-mail: vim-avt@rambler.ru

The possibility of use of the automation equipment for agricultural machinery control is investigated. The authors proposed solutions on creation of the centralized unified automated information system for mobile aggregates management. In accordance with the modern requirements this system should be open, integrated into the general schema of agricultural

enterprise control. Standard hardware, software and communicative features should be realized in tasks of monitoring and control. Therefore the schema should be get with use the unified modules and Russian standards. The complex multivariate unified automated control system for different objects of agricultural purpose based on block and modular creation should correspond to the following principles: high reliability, simplicity of service, low expenses in case of operation, the short payback period connected to increase in productivity, the reduced losses when harvesting, postharvest processing and storage, the improved energetic indices. Technological processes control in agricultural production is exercised generally with feedback. The example without feedback is program control by temperature in storage in case of the cooling mode. Feedback at technological processes control in agricultural production allows to optimally solve a problem of rational distribution of functions in man-distributed systems and forming the intelligent ergonomic interfaces, consistent with professional perceptions of decision-makers. The negative feedback created by the control unit allows to support automatically a quality index of technological process at the set level. The quantitative analysis of a production situation base itself upon deeply formalized basis of computer facilities that promotes making of the optimal solution. Information automated control system introduction increases labor productivity by 40 percent, reduces energetic costs by 25 percent. Improvement of quality of the executed technological operations will increase crop productivity by 1.2-1.3 times.

Keywords: Automation equipment; Automated monitoring and control; Technological processes; Agricultural production.

For citation: Izmaylov A.Yu., Khoroshenkov V.K., Kolesnikova V.A., Alekseev I.S., Lonin S.E., Goncharov N.T. Automation facilities for agricultural machinery control. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny iologii*. 2017; 3: 3-9. DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-3-3-9. (In Russian)

Сельскохозяйственное производство связано с большим набором технологических операций и специальных средств для выполнения работ в поле, которые направлены на решение ключевых задач: увеличение производительности труда, повышение энергоэффективности, а также увеличение урожайности и улучшение качества продукции [1-3].

Решение этих задач может быть найдено путем внедрения информационных технологий, поддерживающих и оптимизирующих все технологические процессы в сельхозпроизводстве [4-6].

Одно из таких решений – создание централизованной унифицированной автоматизированной информационной системы управления мобильными агрегатами.

Важно сделать выбор, на какой элементной базе должна строиться система. Исходя из современных требований она должна быть открытой, интегрированной в общую схему управления сельскохозяйственным предприятием, реализующей идею применения стандартных аппаратных, программных и коммуникационных средств в задачах контроля и управления. Поэтому построение должно базироваться на унифицированных модулях и стандартах, освоенных российскими разработчиками, с учетом невысокой стоимости новых приборов.

Цели исследований – разработка централизованной унифицированной автоматизированной информационной системы управления мобильными агрегатами.

Материалы и методы. Для решения поставленной задачи важное значение имеет разработка математических моделей и алгоритмического обеспечения, адекватно отражающих такие технологические процессы, как обработка почвы, посев, внесение удобрений,

уборка урожая, послеуборочная обработка и хранение сельскохозяйственной продукции.

Базирясь на блочно-модульном построении, комплексная многомерная унифицированная автоматизированная система управления различными объектами сельскохозяйственного назначения должна соответствовать следующим принципам: высокая надежность; простота обслуживания; низкие издержки при эксплуатации; быстрая окупаемость, связанная с увеличением урожайности; снижение потерь при уборке, послеуборочной обработке и хранении; улучшение энергетических показателей. Кроме того, сельхозпредприятиям необходима такая система, которая способна обеспечить доступ к технологическим процессам сразу для многих пользователей: инженеров, агрономов, служб поддержки, планирования и т.д. Собирая больше информации, храня ее как можно дольше, можно своевременно прогнозировать возникновение различных проблем и вовремя их устранять. Технический и технологический прогресс позволяет осуществлять информационное сопровождение сельскохозяйственного производства в целом, добиваясь многокритериального оптимума [7].

Среди задач, решаемых в сельхозпроизводстве, важное место занимают контроль производственной деятельности, разбор нештатных ситуаций и анализ их последствий, формирование отчетов, планирование производственных процессов (рис. 1).

Разработка системы управления различными сельскохозяйственными объектами затрагивает широкий круг проблем – организационных, технических, финансовых, психологических. С технической точки зрения, она интегрирует не только разнородные системы автоматизации, но и разнообразные

аппаратные и программные инструменты. В качестве базы для аппаратного уровня такой системы могут выступать всевозможные контроллеры, панельные компьютеры, на основе которых создаются телемеханические комплексы сбора и передачи оперативных данных, различного коммуникационного оборудования (модемы, преобразователи физических интерфейсов, протокольные шлюзы), серверное оборудование, видеосистемы коллективного пользования и др. Выбор этих средств чрезвычайно разнообразен. Их объединение в единую систему требует от исполнителя большого практического опыта интеграции подобных систем.



Рис. 1. Структурная схема автоматизированной системы управления различными объектами сельскохозяйственного назначения

Fig. 1. Structural scheme of automated system for various agricultural facilities control

Состояние технологического процесса оценивается средним значением, дисперсией, коэффициентом вариации, корреляционными функциями, статистикой показателей процесса. Соответствие состояния процесса установленным требованиям основывается на сравнении показателя качества функционирования процесса с допущенными для конкретных условий значениями вероятностных характеристик. Чтобы реализовать эти принципы, необходимо разработать алгоритмы контроля и управления. В основу этих алгоритмов закладывают зависимости, связывающие статистику показателей эффективности функционирования технологических процессов с допусками и с вероятностями их сохранения или превышения.

Так, алгоритм контроля эффективности функционирования технологических процессов можно представить реализацией $y(t)$ случайной функции

$Y(t)$. Эта функция (изменения глубины обработки почвы, глубины заделки семян, ширины защитной зоны при междурядной обработке и др.) – стационарная и эргодическая, так как агротехническими требованиями предусмотрены симметричные абсолютные допуски Δy на отклонение функции $Y(t)$ и каждой ее реализации $y(t)$ от среднего значения m_y , то есть:

$$m_y - \Delta y \leq y(t) \leq m_y + \Delta y.$$

Связь между допусками Δy и вероятностью его сохранения в этом интервале определяется выражением:

$$P_{\Delta} = \int_{m_y - \Delta y}^{m_y + \Delta y} f(y) dy.$$

Вероятность выбросов за поле допуска:

$$\varepsilon_{\Delta} = 1 - P_{\Delta}.$$

Для оперативного контроля эффективности функционирования технологического процесса, определяемого реализацией $y(t)$ на конкретном периоде T , необходимо иметь непрерывную информацию о реализации $y(t)$, находить статистику этой реализации и сравнивать их с допусками при заданных значениях допуска Δy и вероятности P_{Δ} .

Аппаратно реализовать такой алгоритм контроля эффективности функционирования технологического процесса весьма сложно, так как в ходе контроля нужно формировать среднее значение реализации $y(t)$, с которым следует сравнивать текущее значение параметра контроля. Целесообразнее использовать в качестве базы отсчета отклонения ординат реализации не среднее значение m_y реализации $y(t)$, а настроечное (номинальное) значение y_H . При заданном допуске Δy_H на отклонение ординат реализации $y(t)$ от настроечного значения y_H обобщенная оценка $P_{\Delta H}$ аппаратно реализуется довольно просто, поскольку значения ординат реализации $y(t)$ непосредственно сравниваются с y_H . За определенный период T контроля в измерительном блоке формируются (без расчета среднего значения m_y оценки:

$$P_{\Delta H}^+ = T_{\Delta H}^+ / T; \quad P_{\Delta H}^- = T_{\Delta H}^- / T; \quad P_{\Delta H} = P_{\Delta H}^+ + P_{\Delta H}^-$$

где $P_{\Delta H}$ – общая оценка вероятности нахождения реализации $y(t)$ в поле допуска.

Запишем алгоритм расчета среднего числа $n_{\Delta H}$ выбросов за поле допуска $2|\Delta y_H|$ в единицу времени:

$$n_{\Delta H} = (n_{\Delta H}^+ + n_{\Delta H}^-) / T,$$

где $n_{\Delta H}^+$, $n_{\Delta H}^-$ – число выбросов ординат реализации $y(t)$ за время T за поле допуска выше и ниже значения y_H .

В агротехнических требованиях на многие процессы имеются лишь допустимые отклонения сред-

него значения m_y реализации от заданного значения y_H . При заданном допуске Δy_H в случае нормального распределения (одномерного значения обобщенных оценок) определяем вероятности $P_{\Delta H}^+$ и $P_{\Delta H}^-$:

$$P_{\Delta H}^+ = \Phi\left[\frac{1+K_H}{\sigma_y} \Delta y_H\right] - \Phi\left[\frac{K_H}{\sigma_y} \Delta y_H\right]$$

$$P_{\Delta H}^- = \Phi\left[\frac{K_H}{\sigma_y} \Delta y_H\right] - \Phi\left[\frac{1-K_H}{\sigma_y} \Delta y_H\right]$$

где $K_H = \frac{\Delta y_H}{\Delta y_H}$,

$\Delta y_H = y_H - m_y$ – фактическое отклонение значения y_H от среднего m_y .

Из этого соотношения находим:

$$\Delta P = P_{\Delta H}^- - P_{\Delta H}^+ = 2\Phi\left[\frac{K_H}{\sigma_y} \Delta y_H\right] - \Delta \epsilon,$$

где $\Delta \epsilon = \epsilon_{\Delta H}^+ + \epsilon_{\Delta H}^-$ – разность относительных длительностей выбросов параметров контроля выше и ниже поля допуска.

После преобразования получим:

$$\Delta P = 2\Phi\left[\frac{\Delta y_H}{\sigma_y}\right] - \Delta \epsilon.$$

Эти соотношения ложатся в основу не только алгоритма оперативного контроля относительной длительности $P_{\Delta H}$ преобразования показателя технологического процесса в поле заданного допуска, но и алгоритма управления качеством этого процесса, так как сигнал ΔP (или $\Delta \epsilon$) определяет знак и относительное отклонение фактического значения $P_{\Delta H}$ от заданного значения $P_{\Delta z}$.

Управление технологическими процессами в сельскохозяйственном производстве осуществляется в основном с обратной связью. Пример без обратной связи – это программное управление температурой в хранилище при режиме «охлаждение». В растениеводстве по разомкнутым схемам действуют устройства регулирования рабочих органов агрегатов. Роль управляющих устройств играют органы регулирования, с помощью которых вручную устанавливают режимы работы агрегата. Так, при управлении глубиной хода навесного плуга таким органом служит его опорное колесо, с помощью которого устанавливают заданную глубину вспашки. В системах с обратной связью (рис. 2а) непрерывно измеряют выходную переменную $y(t)$. Результат сравнивается с настроенным (задающим) воздействием y_H . Сигнал рассогласования (ошибка) $e(t)$ подается на вход управляющего устройства (УУ), в котором сигнал $e(t)$ преобразуется в виде управляющего воздействия $U(t)$, подается на вход объекта управления (ОУ).

Для технологических процессов в системе с обратной связью расчетной схемой для каждого канала управления будет схема с двумя входами $U(t)$ и $F(t)$ и одним выходом – показателем качества $y(t)$. В изображениях переменных по Лапласу основным соотношением, определяющим протекание технологического процесса с системой управления с отрицательной обратной связью, будет (рис. 2б):

$$Y(s) = W_{F(s)} - W_{U(s)}$$

где $W_{F(s)}$ и $W_{U(s)}$ – передаточные функции по отношению к возмущающему $F(t)$ и управляющему воздействию $U(s)$.

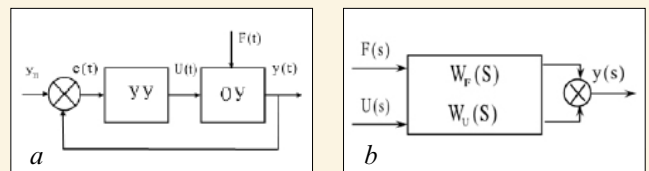


Рис. 2. Схемы автоматического управления:

а – функциональная; б – структурная

Fig. 2. Schemes of automatic control:

a – functional; b – structural

Соотношение служит математическим описанием системы управления линейной моделью технологического процесса агрегата. Отрицательная обратная связь, создаваемая устройством управления, позволяет автоматически поддерживать показатель качества технологического процесса на заданном уровне. Что касается оценки качества управления, то целесообразнее всего пользоваться теми же показателями, что и при контроле технологических процессов, то есть средним уровнем сохранения допуска и средним числом выбросов за поле допуска в единицу времени [8].

Из всего многообразия технологических процессов сельскохозяйственного производства (от почвообработки до послеуборочной обработки и хранения продукции) при создании многомерной унифицированной автоматизированной системы управления сельхозобъектами необходимо выбрать и объединить параметры с идентичным алгоритмом, которые присутствуют во всех технологических процессах. Интегрированные показатели и хронометраж по всем операциям следует заносить в базу данных сервера дистанционного центра.

При почвообработке, включающей операции вспашки, глубокого рыхления, дискования, лущения, культивации, боронования, необходимо контролировать и заносить в базу данных следующие параметры [9]:

- время (год, месяц, число, время суток) начала проведения операции;
- метеословия (температура, влажность воздуха);



- влажность почвы перед проведением операции;
- ширину захвата агрегата;
- глубину обработки почвы;
- среднюю скорость движения агрегата на поле;
- время окончания операции;
- общий расход горюче-смазочных материалов на операцию;
- величину обработанной площади;
- количество и время остановок по тем или иным причинам (в том числе аварийным).

В базе данных аккумулируются сведения о времени проведения пахоты и сроках полной обработки поля по всем операциям, по количеству затраченного горючего. Потом их сравнивают с теми же данными при групповой обработке поля, а также с данными при обработке почвы комбинированными агрегатами [10].

В процессе выполнения технологической операции обрабатываемую площадь рассчитывает бортовой компьютер, установленный на агрегате. Производительность МТА рассчитывают по формуле:

$$W = 0,1 B_p V_p T_p,$$

где B_p – рабочая ширина захвата агрегата, м;

V_p – скорость движения, км/ч;

T_p – время, ч.

По пройденному пути производительность рассчитывают по формуле:

$$W = 0,1 B_{p.н} \int_0^S dl.$$

Эти данные также вносят в базу данных.

Наряду с технологическими параметрами (объемом и качеством обработки почвы) необходимо контролировать и оптимизировать технологический процесс в плане рационального использования мощности трактора, фиксируя в базе диспетчера данные о следующих параметрах:

- наиболее полной загрузке двигателя;
- экономии топлива;
- максимальной производительности.

Кроме того, необходимо передавать данные для визуализации контроля местоположения агрегата на поле. Речь идет о параметрах, автоматически контролируемых и управляемых системой с выводом информации на терминал бортового устройства:

- время работы;
- глубина обработки почвы;
- мгновенный и средний расход горючего;
- визуализация всего обрабатываемого поля, местоположение агрегата на поле;
- траектория движения;
- обработанная площадь;
- скорость движения;
- пройденный путь.

Из этих параметров на сервер базы данных пе-

редают также:

- отклонение глубины обработки почвы от заданного выше допустимого значения;
- отклонение траектории движения от установленного бортовым компьютером значения;
- превышение расхода топлива.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Машинно-тракторные агрегаты (МТА) как объекты автоматизации относятся к объектам управления с переменной структурой.

Из трактора и установленных на нем орудий и машин можно формировать полевые мобильные агрегаты различного назначения. Эта особенность привела к созданию систем автоматизации двух групп: систем автоматического контроля и управления основными энергетическими и эксплуатационными параметрами трактора и систем автоматического контроля и управления основными технологическими параметрами машин и орудий, осуществляющих в составе МТА тот или иной технологический процесс.

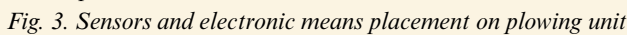
Первая группа системы автоматического контроля – загрузка двигателя трактора, скорость его движения и буксование.

Вторая группа системы автоматического регулирования – глубина обработки почвы, регулирование процесса высева семян, внесения жидких комплексных удобрений и средств защиты растений, загрузки МТА, а также автоматическое вождение различных МТА [11].

Все эти системы автоматизации включают в свой состав следующие типовые элементы: датчики; усилительно-преобразовательные элементы и средства отображения информации, объединенные конструктивно в пульта управления или пульта контроля; исполнительные органы. Датчики систем первой группы устанавливают на тракторе, а датчики систем второй группы – на машинах или орудиях (навесных или прицепных). Исполнительные органы систем автоматизации устанавливают на соответствующие агрегаты трактора, а пульта контроля или управления размещают в кабине (рис. 3).

В связи с указанной особенностью размещения элементов систем автоматизации на практике возникают трудности и неудобства при использовании локальных систем автоматизации второй группы, так как при формировании с одним трактором агрегатов различного назначения необходим демонтаж элементов (главным образом пультов) одной локальной системы на тракторе и монтаж соответствующих элементов другой системы. Это обстоятельство затрудняет внедрение локальных систем автоматического контроля и регулирования основных параметров МТА различного назначения.

Устранение указанных недостатков локальных систем возможно путем создания многомерной уни-



Применение информационной автоматизированной системы управления увеличивает производительность труда на 40%, уменьшает энергетические затраты на 25%, а повышение качества выполняемых технологических операций позволит увеличить урожайность в 1,2-1,3 раза.

8. Хорошенков В.К., Гончаров Н.Т., Ксенофонов Н.П., Афонина И.И. К обоснованию параметров и структуры автоматизированной информационной комплексной системы для управления полеводческими подразделениями // Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем: Сборник научных докладов XII Международной научно-технической кон-



ференции. Ч. 2. М.: ВИМ, 2012. С. 611-618.

9. Измайлов А.Ю., Гришин А.А., Гришин А.П., Лобачевский Я.П. Интеллектуальная автоматизация технических средств сельскохозяйственного назначения // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий: Сборник докладов Международной научно-технической конференции. М.: ВИМ, 2014. С. 359-362.

10. Хорошенков В.К., Гончаров Н.Т., Лужнова Е.С.,

Мальцев Н.В. Автоматизация управления машинно-тракторным агрегатом с использованием навигационных систем // Техника в сельском хозяйстве. 2010. N3. С. 19-23.

11. Itskovich E.L. Methodology for attaining the rational level of plant. Automation and remote control. 2011; Vol. 72; 5: 1080-1088.

12. Stasyuk N.V., Dobrovol'skii G.V., Rushchenko V.K., Zalibekov Z.G. Methodological aspects of soil monitoring on the plains of Dagestan. Eurasian soil science. 2006; 9: 1021-1032.

REFERENCES

1. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. Innovative mechanized technologies and the automated technical systems for agriculture. *Modernizatsiya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na baze innovatsionnykh mashinnykh tekhnologiy i avtomatizirovannykh sistem: Sbornik dokladov XII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Vol. 1. Moscow: VIM, 2012: 31-44. (In Russian)

2. Izmaylov A.Yu., Grishin A.A., Grishin A.P., Lobachevskiy Ya.P. Experimental systems of intellectual automation of technical means of agricultural purpose. *Innovatsionnoe razvitie APK Rossii na baze intellektual'nykh mashinnykh tekhnologiy: Sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Moscow: VIM, 2014: 379-382. (In Russian)

3. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. Management and information support by innovative technological processes in plant industry. *Avtomatizatsiya i informatsionnoe obespechenie proizvodstvennykh protsessov v sel'skom khozyaystve: Sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Vol. 1. Moscow: VIM, 2010: 47-58. (In Russian)

4. Izmaylov A.Yu., Artyushin A.A., Smirnov I.G., Evtyushenkov N.E., Kolesnikova V.A., Lichman G.I., Marchenko N.M., Marchenko L.A., Khoroshenkov V.K. Kontseptsiya razvitiya sistemy operativnogo upravleniya avtotransportnymi i drugimi mobil'nymi tekhnicheskimi sredstvami, primenyaemymi v sel'skom khozyaystve s ispol'zovaniem GLONASS/GPS [Concept of development of system of operational management of vehicles and other mobile technical machines in agriculture with the use of GLONASS/GPS-receiver]. Moscow: VIM, 2014: 64. (In Russian)

5. Izmaylov A.Yu., Artyushin A.A., Kolesnikova V.A., Lichman G.I., Marchenko N.M., Marchenko A.N., Marchenko L.A., Mochkova T.V., Smirnov I.G. Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu sredstv khimizatsii v sisteme tochnogo zemledeliya [Methodical recommendations about application of means of chemicalization in precision agriculture system]. Moscow: VIM, 2016: 100. (In Russian)

6. Lachuga Yu.F., Gorbachev I.V., Ezhevskiy A.A., Izmaylov A.Yu., Elizarov V.P., Artyushin A.A., Lobachevskiy

Ya.P., Kryazhkov V.M., Antyshev N.M., Babchenko V.D., Beylis V.M., Golubkovich A.V., Grishin A.P., Evtyushenkov N.E., Zhalnin E.V., Zhuk A.F., Kolesnikova V.A., Levina N.S., Lichman G.I., Marchenko N.M. i dr. Sistema mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii i avtomatizatsii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na period do 2020 goda [System of machinery and technologies for complex mechanization and automation of agricultural production for the period until 2020]. Vol. 2. Zhivotnovodstvo. Moscow: VIM, 2012: 212. (In Russian)

7. Bryzzhev A.V., Rykhovich D.I., Koroleva P.V., Kalina N.V., Vilchevskaya E.V. Organization of retrospective monitoring of the soil cover of Rostov oblast. Eurasian soil science. 2015; 10: 1049-1029. (In English)

8. Khoroshenkov V.K., Goncharov N.T., Ksenofontov N.P., Afonina I.I. To justification of parameters and structures of the automated information complex system for field divisions management. *Modernizatsiya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na baze innovatsionnykh mashinnykh tekhnologiy i avtomatizirovannykh sistem: Sbornik dokladov XII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Vol. 2. Moscow: VIM, 2012: 611-618. (In Russian)

9. Izmaylov A.Yu., Grishin A.A., Grishin A.P., Lobachevskiy Ya.P. Intellectual automation of technical means of agricultural purpose. *Innovatsionnoe razvitie APK Rossii na baze intellektual'nykh mashinnykh tekhnologiy: Sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Moscow: VIM. 2014: 359-362. (In Russian)

10. Khoroshenkov V.K., Goncharov N.T., Luzhnova E.S., Mal'tsev N.V. Automation of MTA (machine-and-tractor unit) control with the use of navigation systems. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 2010; 3: 19-23. (In Russian)

11. Itskovich E.L. Methodology for attaining the rational level of plant. Automation and remote control. 2011; Vol. 72; 5: 1080-1088. (In English)

12. Stasyuk N.V., Dobrovol'skii G.V., Rushchenko V.K., Zalibekov Z.G. Methodological aspects of soil monitoring on the plains of Dagestan. Eurasian soil science. 2006; 9: 1021-1032. (In English)

Критерии авторства. Все авторы несут ответственность за представленные в статье сведения и плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution. The authors are responsible for information and plagiarism avoiding.

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

БЕСПИЛОТНЫЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ ДЛЯ ВНЕСЕНИЯ ПЕСТИЦИДОВ И УДОБРЕНИЙ В СИСТЕМЕ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

Смирнов И.Г.,
канд. с.-х. наук;
Марченко Л.А.*,
канд. техн. наук;

Личман Г.И.,
докт. техн. наук;
Мочкова Т.В.,
канд. с.-х. наук;

Спиридонов А.Ю.

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Российская Федерация, *e-mail: vim@vim.ru

Развитие технологии точного земледелия требует более высокого уровня технического обеспечения, основанного на программируемых, полностью автономно функционируемых или дистанционно управляемых беспилотных авиационных системах, содержащих комплексы автоматических или дистанционно-управляемых беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Проведен выбор и обоснование основных параметров БПЛА сельскохозяйственного назначения. Установлено, что для дифференцированного внесения средств защиты растений и удобрений предпочтительны БПЛА многократного использования, безаэродромного базирования, с небольшой разбежкой для взлета или вертикальным взлетом и вертикальной посадкой, низковысотные, вертолетного, винтокрылого и мультироторного типов, оснащенные автопилотом и системой дифференцированного распределения рабочих жидкостей удобрений и пестицидов по заданной программе, разработанной в соответствии с агрохимической картограммой и картой фитосанитарного состояния поля. Составлено уравнение массового баланса БПЛА сельскохозяйственного назначения, которое позволяет более точно определить взлетную массу с учетом составляющих масс полезной нагрузки, предназначенной для дифференцированного дозирования и распределения рабочих жидкостей удобрений и пестицидов. Получено уравнение существования БПЛА, отличающееся тем, что оно, кроме массовых и летно-технических характеристик летательного аппарата, отображает технологические параметры дифференцированного внесения пестицидов и удобрений для конкретного обрабатываемого поля. Показано, что технологический процесс применения БПЛА в системе точного земледелия включает последовательные взаимосвязанные операции: мониторинг и зондирование посевов (с использованием легких БПЛА, оснащенных мультиспектральными камерами), получение, обработку и передачу информации для управления посевами, дифференцированное внесение пестицидов и удобрений по заданной программе обработки поля посредством (посредством БПЛА с большой полезной нагрузкой).

Ключевые слова: точное земледелие, средства защиты растений, внесение удобрений, беспилотные летательные аппараты.

■ **Для цитирования:** Смирнов И.Г., Марченко Л.А., Личман Г.И., Мочкова Т.В., Спиридонов А.Ю. Беспилотные летательные аппараты для внесения пестицидов и удобрений в системе точного земледелия // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N3. С. 10-16

UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR PESTICIDES AND FERTILIZERS APPLICATION IN PRECISION FARMING SYSTEM

Smirnov I.G., Ph.D.(Agr.);
Marchenko L.A.*, Ph.D.(Eng.);

Lichman G.I., D.Sc.(Eng.);
Mochkova T.V., Ph.D.(Agr.);

Spiridonov A.Yu.

Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM, 1st Institutskiy proezd, 5, Moscow, 109428, Russian Federation, *e-mail: vim@vim.ru

The development of precision farming technology requires a higher level of technical support based on programmable, fully autonomous or remotely controlled unmanned aerial systems that contain complexes of automatic or remotely controlled unmanned aerial vehicles (UAVs). The authors conducted selection and justification of the main parameters of the UAV for agricultural purposes. For variable rate application of plant protection products and fertilizers the agrarians

prefer UAVs of reusable, non-aerodrome basing, with small take-off for takeoff or vertical take-off and vertical landing, low-altitude, helicopter, rotary-wing and multi-rotor types equipped with an autopilot and a system for differentiating the distribution of fertilizer working fluids and pesticides for a set program, developed in accordance with the agrochemical cartogram and field phytosanitary condition. The equation of mass balance of UAV of agricultural purpose is made, which allows more precisely to determine the take-off weight taking into account the constituent masses of the payload intended for differentiated dispensing and distribution of working fluids of fertilizers and pesticides. The equation of UAV existence is obtained, which differs in that, in addition to the mass and flight-technical characteristics of the aircraft, it displays the technological parameters of differentiated application of pesticides and fertilizers for a particular field being treated. The technological process of UAV application in the system of precise farming includes sequential interrelated operations: monitoring and sounding of crops (using light UAVs equipped with multispectral cameras), obtaining, processing and transmitting information for crop management, differentiated application of pesticides and fertilizers according to a specified treatment program (UAV through a large payload).

Keywords: Precision agriculture; Plant protection; Fertilization; Unmanned aerial vehicles.

■ **For citation:** Smirnov I.G., Marchenko L.A., Lichman G.I., Mochkova T.V., Spiridonov A.Yu. Unmanned aerial vehicles for pesticides and fertilizers application in precision farming system. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017; 3: 10-16. DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-3-10-16. (In Russian)

В России принята и реализуется Национальная технологическая инициатива (НТИ) – долгосрочная программа формирования и развития высокотехнологических мировых и отечественных рынков, основанная на государственно-частном партнерстве. В рамках НТИ разработана дорожная карта *AeroNet*, направленная на формирование будущего облика сферы беспилотных авиационных систем (БАС), в соответствии с которой предполагается превратить к 2035 г. *AeroNet* в глобальную конкурентоспособную отрасль и вывести Российскую Федерацию на лидирующие позиции в ряде сегментов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

На новых рынках посредников в виде государственных структур и коммерческих компаний заменят программные агенты (софты). Новые рынки носят сетевой характер, их называют нетами – «сетями». На сегодняшний день в России рынок гражданского использования беспилотных воздушных судов сформирован недостаточно, особенно в сельском хозяйстве.

Тенденции последних лет развития мирового сельскохозяйственного производства базируются на применении информационных технологий, глобальных систем позиционирования, геоинформационных систем, автоматизированных систем контроля и управления технологическими процессами, роботизированных устройств, объединенных в систему точного земледелия [1]. Для этого необходимы технологии дистанционного мониторинга сельскохозяйственных и лесных угодий с использованием космических, пилотируемых, беспилотных летательных аппаратов [2] и технологии дифференцированного внесения удобрений, средств защиты растений и посева семян режимах *of-line* или *on-line* по предварительно разработанным на основании мониторинга полей картам-заданиям [3].

Использование беспилотных летательных аппаратов для мониторинга и дистанционного зондирования посевов сельскохозяйственных культур становится обычной операцией и обеспечивает получение данных для построения цифровых электронных карт полей и формирования карт-заданий на дифференцированное внесение средств защиты растений и удобрений [4].

Дифференцированное внесение удобрений, пестицидов и дифференцированный посев в системе точного земледелия осуществляются как правило наземной техникой, оснащенной автоматизированной системой управления и контроля технологическим процессом, приемниками ГЛОНАСС/*GPS*, коммуникациями *ISOBUS* [3, 5]. Однако применение такой техники затруднительно при высокой влажности почвы, на сложных рельефах поля, горных склонах с садами и виноградниками, в поздние периоды вегетации растений и в сжатые агротехнические сроки, что приводит к рискам, связанным с недобором урожая и снижением его качества и тем самым к убыткам сельхозтоваропроизводителей.

Развитие технологии точного земледелия требует более высокого уровня технического обеспечения, основанного на программируемых, полностью автономно функционирующих или дистанционно управляемых беспилотных авиационных системах (БАС), которые содержат комплексы автоматических или дистанционно управляемых беспилотных летательных аппаратов, совершающих полеты в сегрегированном пространстве в соответствии со стандартами *ICAO* (Международной организации гражданской авиации). При этом авиационные системы содержат также модули в виде аппаратно-программного комплекса, станции внешнего управления и контроля полетом и другие элементы системы для выполнения программируемого полета воздушного судна. Кроме этого

БАС включают аэромобильные комплексы сельскохозяйственного назначения в виде специализированных наземных транспортных средств, оснащенных системой крепления БПЛА, подъемниками для спуска и погрузки БПЛА, резервуарами для заправки БПЛА топливом и рабочими жидкостями пестицидов и удобрений, станцией управления полетом.

Бортовая система управления полетом состоит из блока автопилота, блока управления двигателем, блока управления полезной нагрузкой, пилотажно-навигационного комплекса с интегрированной навигационной системой и приемниками ГЛОНАСС/GPS для полета на малых высотах.

Цель исследования – выбор и обоснование основных параметров беспилотных летательных аппаратов для дифференцированного внесения жидких средств химизации в системе точного земледелия.

Материалы и методы. В работе использованы стандарты на БПЛА, методические рекомендации по применению средств химизации в системе точного земледелия, концепции развития оперативного управления мобильными техническими средствами, применяемыми в сельском хозяйстве с использованием ГЛОНАСС/GPS, а также по анализу обобщенной классификации беспилотных летательных аппаратов и беспилотных авиационных систем [3, 5-8]. Массовый структурный анализ БПЛА осуществляли на основе классических методов [9].

Результаты и обсуждение. По функциональному назначению БПЛА для сельского хозяйства подразделяют на транспортные, мониторинговые, посевные, для внесения удобрений и средств защиты растений. По типу конструкции предпочтительны БПЛА винтокрылого (гиропланы) и мультироторного (квадро-, гекса- или октокоптеры) типов. БПЛА могут иметь автоматическое или дистанционное управление.

По используемому классу воздушного пространства полеты БПЛА сельскохозяйственного назначения должны выполняться в сегрегированном воздушном пространстве установленных размеров, предназначенном для исключительного использования конкретными пользователями.

С точки зрения взлета и посадки преимущество остается за БПЛА с небольшой разбежкой для взлета или вертикальным взлетом и вертикальной посадкой.

Наиболее предпочтительны БПЛА безаэродромного базирования, многократного действия, низковысотные и граничномазовысотные (0-300 м).

Силовая установка БПЛА может включать электрические или поршневые двигатели с базным топливным баком многократной заправки.

Масса полезной нагрузки обычно составляет

15-30% массы БПЛА и включает целевую нагрузку (видео- или фотоаппаратуру и др.), массу транспортного груза, например запчасти для полевых сельхозмашин, массу удобрений или пестицидов, оборудования для их внесения. Функциональная нагрузка включает двигатель (с запасом топлива) или источник электропитания, а также сервоприводы, аэродинамические органы управления, комплекс программно-аппаратных средств, содержащих бортовую аппаратуру управления [10].

В таблице представлена перспективная классификация БПЛА по взлетной массе и полезной нагрузке.

Table		Таблица
Классификация БПЛА для внесения агрохимикатов по взлетной массе, полезной нагрузке, дальности полета CLASSIFICATION OF UAVs FOR APPLICATION OF AGROCHEMICALS BY TAKEOFF WEIGHT, PAYLOAD, RANGE		
БПЛА UAVs	Масса взлетной/полезной нагрузки, кг Weight takeoff/useful load, kg	Максимальная дальность полета, км Maximum range of flight, km
Сверхлегкие ближней дальности Ultra-light near range	(25/7,5)-(150/45)	менее 30 less than 30
Легкие ближней дальности Light of short range	(50/15)-(250/75)	10-30
Средние малой дальности Medium short range	(150/45)-(500/150)	80-200
Среднетяжелые малой дальности Medium heavy short range	(500/150)-(1500/450)	200-500

Как в мировой, так и в отечественной сельскохозяйственной практике БПЛА используют в основном для выполнения следующих работ: инвентаризации сельхозугодий; получения информации для создания электронных карт полей; оценки всхожести сельскохозяйственных культур; оперативного мониторинга фитосанитарного состояния посевов, определения нормализованного вегетационного индекса (NDVI); оценки качества внесения удобрений и средств защиты растений; прогноза урожайности; контроля текущего состояния агроценозов и выполнения агротехнических работ в режиме реального времени; экологического мониторинга сельскохозяйственных и лесных угодий.

В точном земледелии дозы минеральных удобрений и нормы внесения пестицидов определяют для каждого элементарного участка поля. Количество участков зависит от внутривидовой вариативности содержания питательных веществ, фитосанитарного состояния и площади поля. Мониторинг

торинг агроценозов осуществляют с помощью фото- или мультиспектральных камер, установленных на БПЛА самолетного и вертолетного типов, так называемых мультикоптеров небольшой взлетной массы и с малой полезной нагрузкой.

Известны отдельные разработки БПЛА вертолетного типа с полезной нагрузкой (до 28 кг) для сплошной обработки посевов пестицидами [11]. БПЛА для дифференцированного внесения минеральных удобрений и средств защиты растений в системе точного земледелия на данный момент находятся в стадии проектных решений.

Особенности массового баланса БПЛА с учетом масс известных грузов и относительных масс частей летательного аппарата уже определены [12-13]. Однако специфика составляющих массового баланса БПЛА сельскохозяйственного назначения не была рассмотрена.

Уравнения массового баланса летательного аппарата [9] при прочих равных условиях отображают связь взлетной массы m_0 со структурными элементами: массами конструкции $m_{кон}$, силовой установки $m_{сy}$, бортового оборудования и систем управления $m_{об.сy}$, топлива m_m , полезной нагрузки m_{nn} :

$$m_0 = m_{кон} + m_{сy} + m_{об.сy} + m_m + m_{nn}. \quad (1)$$

Уравнение массового баланса (1) в первом приближении обычно представляется в относительном виде, позволяющем сравнивать летательные аппараты по степени использования единицы массы:

$$1 = \bar{m}_{кон} + \bar{m}_{сy} + \bar{m}_{об.сy} + \bar{m}_m + \bar{m}_{nn}, \quad (2)$$

где $\bar{m}_i = \frac{m_i}{m_0}$ – отношение массы i -го элемента к взлетной массе.

Для БПЛА сельхозназначения при использовании его в системе точного земледелия уравнение существования должно связывать взлетную массу, функциональные составляющие взлетной массы и параметры, обеспечивающие дифференцированное внесение пестицидов и удобрений.

Работая с БПЛА для дифференцированного внесения пестицидов и удобрений, следует учитывать перераспределение его весовой структуры в сторону увеличения полезной нагрузки (массы загружаемой рабочей жидкости, оборудования для ее распределения, бортового оборудования, систем управления) и в сторону уменьшения массы топлива на борту.

Относительная масса конструкции $\bar{m}_{кон}$ включает относительные массы крыла $\bar{m}_{кр}$, фюзеляжа $\bar{m}_{ф}$, горизонтального $\bar{m}_{го}$ и вертикального $\bar{m}_{во}$ оперения, которые в свою очередь зависят от взлетной массы m_0 (с увеличением взлетной массы возраста-

ют составляющие массы конструкции):

$$\bar{m}_{кон} = F(\bar{m}_{кр}, \bar{m}_{ф}, \bar{m}_{го}, \bar{m}_{во}). \quad (3)$$

Относительная масса силовой установки $\bar{m}_{сy}$ зависит от относительных масс двигателя $\bar{m}_{дв}$, топливной системы $\bar{m}_{тс}$, агрегатов управления двигателем и топливной системой $\bar{m}_{уп.дв.тс}$, от режима полета – предельных значений высоты H_n и скорости V_n :

$$\bar{m}_{сy} = \Omega(\bar{m}_{дв}, \bar{m}_{тс}, \bar{m}_{уп.дв.тс}, H_n, V_n). \quad (4)$$

Относительная масса бортового оборудования и систем управления $\bar{m}_{об.сy}$ складывается из относительных масс источников энергии $\bar{m}_{из}$, электро- и радиооборудования $\bar{m}_{эл.об.}$, автопилота $\bar{m}_{ап}$, электронных блоков $\bar{m}_{эб.}$, аэронавигационных огней $\bar{m}_{ано.}$, приемников GPS/ГЛОНАСС $\bar{m}_{GPS}$:

$$\bar{m}_{об.сy} = \Phi(\bar{m}_{из}, \bar{m}_{эл.об.}, \bar{m}_{ап}, \bar{m}_{эб.}, \bar{m}_{ано.}, \bar{m}_{GPS}). \quad (5)$$

Относительная масса топлива $\bar{m}_m$ зависит от удельного расхода топлива C_m и дальности полета L_n летательного аппарата:

$$\bar{m}_m = \Psi(C_m, L_n). \quad (6)$$

Дальность полета при челночном способе обработки зависит от площади поля S_n , рабочей ширины захвата опрыскивания B_p , радиуса разворота летательного аппарата на очередной гон R_i . Тогда выражение для $\bar{m}_m$ принимает вид:

$$\bar{m}_m = \left(\sum_{i=1}^n \frac{S_n}{B_p} + \sum_{i=1}^n R_i \right) \cdot C_m, \quad (7)$$

где n – количество гонок на обрабатываемом поле.

Относительная масса полезной нагрузки $\bar{m}_{nn}$ включает относительные массы бака $\bar{m}_б$ для рабочей жидкости (растворов удобрений и пестицидов), собственно загружаемой в бак рабочей жидкости $\bar{m}_{ржс}$, насоса $\bar{m}_н$, штанги с форсунками $\bar{m}_{шф}$, электрогидравлической арматуры $\bar{m}_{ар}$ (краны, трубопроводы, электроклапаны, регуляторы давления и расхода и др.) и микропроцессора $\bar{m}_{мп}$:

$$\bar{m}_{nn} = \bar{m}_б + \bar{m}_{ржс} + \bar{m}_н + \bar{m}_{шф} + \bar{m}_{ар} + \bar{m}_{мп}. \quad (8)$$

Масса рабочей жидкости (удобрений и пестицидов) в зависимости от площади обрабатываемого поля может быть переменной, поэтому отношение $\bar{m}_{ржс} = \bar{m}_{ржс} / m_0$ будет переменной величиной при условии:

$$0 \leq \bar{m}_{ржс} \leq \bar{m}_{зад}, \quad (9)$$

где $\bar{m}_{зад}$ – заданная масса рабочих растворов пести-

цидов и удобрений для программируемой обработки всех участков поля.

При дифференцированной обработке посевов БПЛА в режиме *of-line* каждый выделенный элементарный участок обрабатываемого поля с фиксированными широтно-долготными координатами X , Y имеет длину L_i и ширину, равную рабочей ширине опрыскивания B_p . Тогда общая площадь обработки будет составлять:

$$S_{\text{офр.}} = \sum_{i=1}^k L_i B_p, \quad (10)$$

где k – количество обрабатываемых участков.

Общая длина обрабатываемых участков равна:

$$L_{\text{офр.}} = \sum_{i=1}^k L_i. \quad (11)$$

Таким образом, дальность полета БПЛА при челночном способе обработки и суммарная длина всех обрабатываемых участков поля могут не совпадать; при этом:

$$0 < L_{\text{офр.}} \leq L_n. \quad (12)$$

Расход рабочей жидкости для дифференцированного внесения на обрабатываемом поле устанавливается исходя из рассчитанных доз пестицидов и удобрений для каждого обозначенного однородного участка поля и количества выделенных на них элементарных участков, которые представляют собой прямоугольники шириной, равной рабочей ширине внесения, и длиной, равной длине выделенного контура.

С учетом того, что норма внесения рабочей жидкости обеспечивается ее расходом через одну форсунку g_ϕ , количеством форсунок N_ϕ на штанге опрыскивающего оборудования БПЛА, шириной внесения B_p и рабочей скоростью полета V_n , относительную массу рабочей жидкости можно представить в следующем виде:

$$\bar{m}_{\text{рж.}} = B_p \sum_{i=1}^k L_i \left(\frac{N_\phi g_\phi}{B_p V_n} \right), \quad (13)$$

где k – количество участков, требующих обработки за один полет в соответствии с цифровой картой поля.

В обобщенном виде функциональная связь относительной массы полезной нагрузки с основными ее компонентами и технологическими параметрами будет иметь вид:

$$\bar{m}_n = \Theta(\bar{m}_\phi, \bar{m}_\text{д}, \bar{m}_\text{а}, \bar{m}_\text{н}, S_n, k, B_p, L_{\text{офр.}}, N_\phi, q_\phi, V_n). \quad (14)$$

Используя выражения (3)–(6) и (13), получаем уравнение существования БПЛА для дифференцированного внесения рабочих жидкостей пестици-

дов и удобрений:

$$1 = F(\bar{m}_\phi, \bar{m}_{\text{до}}, \bar{m}_{\text{а}}) + \Omega(\bar{m}_{\text{д}}, \bar{m}_{\text{н}}, \bar{m}_{\text{до}}, \bar{m}_{\text{с}}, H_n, V_n) + \Phi(\bar{m}_{\text{д}}, \bar{m}_{\text{н}}, \bar{m}_{\text{до}}, \bar{m}_{\text{а}}, \bar{m}_{\text{с}}, \bar{m}_{\text{GPS}}) + \Psi(C_m, L_n) + \Theta(\bar{m}_\phi, \bar{m}_\text{н}, \bar{m}_{\text{а}}, \bar{m}_{\text{н}}, S_n, k, B_p, L_{\text{офр.}}, N_\phi, q_\phi, V_n). \quad (15)$$

Отличие уравнения существования (15) от известных заключается в том, что оно, кроме массовых и летно-технических характеристик БПЛА, отображает также технологические параметры дифференцированного внесения жидких средств химизации для конкретного сельскохозяйственного поля.

Технологический процесс дифференцированного внесения азотных удобрений с учетом разработанных моделей управления технологическими операциями внесения удобрений [4] представлен в виде блок-схемы (рисунок). БПЛА осуществляет мультиспектральный мониторинг сельскохозяйствен-

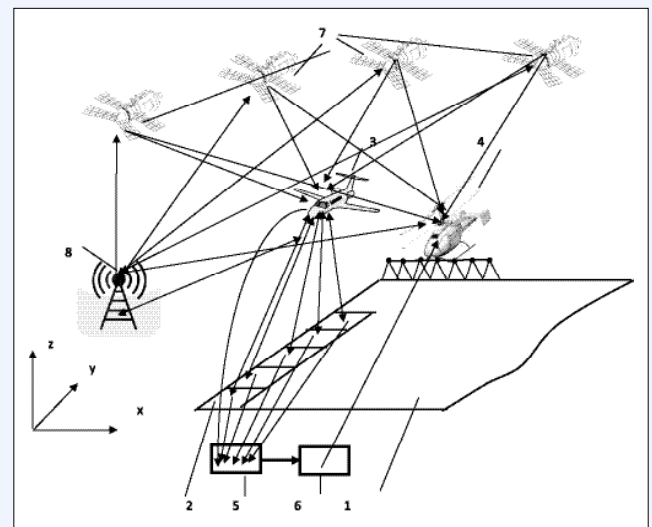


Рис. Блок-схема технологии дифференцированного внесения пестицидов и удобрений с использованием беспилотных летательных аппаратов:

1 – сельскохозяйственное поле; 2 – тестовые площадки сельхозкультур; 3 – БПЛА для зондирования и мониторинга почвы и агроценозов; 4 – БПЛА для внесения удобрений и пестицидов; 5 – информационный блок базы данных; 6 – наземный компьютерный блок анализа, обработки и передачи данных; 7 – искусственные спутники Земли; 8 – наземная опорная базовая станция DGPS с известными координатами X , Y , Z

Fig. Block diagram of the technology of differentiated application of pesticides and fertilizers using unmanned aerial vehicles:

1 – agricultural field; 2 – test sites for crops; 3 – UAV for sounding and monitoring of soil and agroecosystems; 4 – UAV for application of fertilizers and pesticides; 5 – information block of the database; 6 – ground computer unit for analysis, processing and transmission of data; 7 – artificial satellites of the Earth; 8 – ground reference base station DGPS with known coordinates X , Y , Z



ного поля и тестовых площадок. Далее аппарат передает спектральную информацию с привязанными географическими координатами элементарных участков поля в информационный блок базы данных. Одновременно на тестовых площадках отбирают пробы почвы и растений для калибровки данных при обработке спектральных измерений, полученных с БПЛА, лабораторными методами определяют содержание питательных веществ на каждой из площадок и вводят данные в информационный блок, соединенный с блоком анализа, обработки и передачи данных на БПЛА, посредством которого осуществляется дифференцированное внесение пестицидов и удобрений.

Выводы

1. Технология точного земледелия требует более высокого уровня технического обеспечения, основанного на программируемых, полностью автономных или дистанционно управляемых беспилотных авиационных системах, содержащих комплексы автоматических или дистанционно управляемых беспилотных летательных аппаратов для мониторинга агроценозов, дифференцированного внесения пестицидов и удобрений.

2. Установлено, что для дифференцированного внесения пестицидов и удобрений предпочтительны БПЛА многоразового использования, безаэродромного базирования, с небольшой разбежкой для взлета или вертикальным взлетом и вертикальной посадкой, низковысотные, вертолетного, вин-

токрылого и мультироторного типов, оснащенные автопилотом и системой дифференцированного распределения рабочих жидкостей удобрений и пестицидов по заданной программе, разработанной в соответствии с агрохимической картограммой и картой фитосанитарного состояния поля.

3. Составлено уравнение массового баланса БПЛА сельскохозяйственного назначения, которое позволяет более точно определить взлетную массу с учетом составляющих масс полезной нагрузки, предназначенной для дифференцированного дозирования и распределения рабочих жидкостей удобрений и пестицидов.

4. Получено уравнение существования БПЛА, отличающееся тем, что оно, кроме массовых и летно-технических характеристик летательного аппарата, отображает технологические параметры дифференцированного внесения пестицидов и удобрений для конкретного обрабатываемого поля.

5. Технологический процесс применения БПЛА в системе точного земледелия включает последовательно выполняемые взаимосвязанные операции: мониторинг и зондирование посевов (с помощью легких БПЛА, оснащенных мультиспектральными камерами), получение, обработку и передачу информации для управления посевами, дифференцированное внесение пестицидов и удобрений по заданной программе обработки поля (посредством БПЛА с большой полезной нагрузкой).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шпаар Д., Захаренко А. В., Якушев В. П. и др. Точное сельское хозяйство (Precision Agriculture). СПб., Пушкин, 2009. 397 с.
2. Личман Г. И., Марченко Н. М. Использование космического мониторинга и дистанционного зондирования в системе точного земледелия // Геоматика. 2011. N4. С. 89-93.
3. Измайлов А. Ю., Артюшин А. А., Колесникова В. А. и др. Методические рекомендации по применению средств химизации в системе точного земледелия. М.: ВИМ, 2016. 100 с.
4. Михайленко И. М. Беспилотная малая авиация в сельском хозяйстве // Агрофизика. 2015. N2. С. 16-24.
5. Измайлов А. Ю., Артюшин А. А., Смирнов И. Г. и др. Концепция развития оперативного управления автотранспортными и другими мобильными техническими средствами, применяемыми в сельском хозяйстве с использованием ГЛОНАСС/GPS. М.: ВИМ, 2014. 63 с.
6. Корченко А. Г., Ильяш О. С. Обобщенная классификация беспилотных летательных аппаратов // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. 2012. Вип. 4(33). С. 27-36.
7. Ростопчин В., Бурдун И. Беспилотные авиацион-
- ные системы. Основные понятия. Электроника: Наука, Технология, Бизнес. 2009. N4. С. 82-88.
8. Шейнин В. М., Козловский В. И. Весовое проектирование и эффективность пассажирских самолетов. Т. 1. Весовой расчет и весовое проектирование. М.: Машиностроение, 1977. 344 с.
9. Фетисов В. С., Неугодникова Л. М., Адамовский В. В., Красноперов Р. А. Беспилотная авиация: терминология, классификация, современное состояние. Уфа: Фотон, 2014. 217 с.
10. Xinyu Xue, Yubin Lan, Zhu Sun, Chun Chang, W. Clint Hoffman. Develop an unmanned areal vehicle based automatic areal spray system. Computers and Electronics in Agriculture. 2016; 128: 58-66.
11. Дружинин Е. А., Крицкий Д. Н., Захарчук А. И. Особенности массовой модели беспилотного летательного аппарата // Система обробки інформації. 2013. Вип. 1(108). С. 44-48.
12. Приймак А. В., Сюлев К. В., Рыжук И. А., Купrienko A. B. Математическая модель выбора основных параметров беспилотного летательного аппарата для решения типовых задач поиска наземных целей // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних

Сил. 2013. Вып. 2(35). С. 28-32.

13. Захарчук А.И., Яшин С.А., Рябков В.И. Особенности массового баланса беспилотного летательного

аппарата гражданского назначения во втором // Открытые информационные и компьютерные технологии. 2013. N58. С. 55-62.

REFERENCES

1. Shpaar D., Zakharenko A. V., Yakushev V.P., et al. Precision Agriculture. St.Petersburg, Pushkin, 2009: 397. (In Russian)
2. Lichman G.I., Marchenko N.M. Use of space monitoring and remote sensing in the system of precise agriculture. *Geomatika*. 2011; 4: 89-93. (In Russian)
3. Izmaylov A.Yu., Artyushin A.A., Kolesnikova V.A., et al. Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu sredstv khimizatsii v sisteme tochnogo zemledeliya [Methodical recommendations on the use of chemical means in the system of precision farming]. Moscow: VIM, 2016: 100. (In Russian)
4. Mikhaylenko I.M. Unmanned small aircraft in agriculture. *Agrofizika*. 2015; 2: 16-24. (In Russian)
5. Izmaylov A.Yu., Artyushin A.A., Smirnov I.G., et al. Kontseptsiya razvitiya operativnogo upravleniya avtotransportnymi i drugimi mobil'nymi tekhnicheskimi sredstvami, primenyaemymi v sel'skom khozyaystve s ispol'zovaniem GLONASS/GPS [Concept of development of operational management of motor transport and other mobile technical means used in agriculture using GLONASS/GPS]. Moscow: VIM, 2014: 63. (In Russian)
6. Korchenko A.G., Il'yash O.S. Generalized classification of unmanned aerial vehicles. *Zbirnik naukovikh prats' Kharkivs'kogo universitetu Povitryanikh Sil*. 2012; 4(33): 27-36. (In Russian)
7. Rostopchin V., Burdun I. Unmanned aerial systems. Basic concepts. *Elektronika: Nauka, Tekhnologiya, Biznes*. 2009; 4: 82-88. (In Russian)
8. Sheynin V.M., Kozlovskiy V.I. Vesovoe proektirovanie i effektivnost' passazhirskikh samoletov. Vol. 1. Vesovoy raschet i vesovoe proektirovanie [Weight design and efficiency of passenger aircraft. Vol. 1. Weight calculation and weight design]. Moscow: Mashinostroenie, 1977: 344. (In Russian)
9. Fetisov V.S., Neugodnikova L.M., Adamovskiy V.V., Krasnoperov R.A. Bepilotnaya aviatsiya: terminologiya, klassifikatsiya, sovremennoe sostoyanie [Unmanned aircraft: terminology, classification, current status]. Ufa: Foton, 2014: 217. (In Russian)
10. Xinyu Xue, Yubin Lan, Zhu Sun, Chun Chang, W. Clint Hoffman. Develop an unmanndet areal vehicle based automatic areal spreig sustem. *Computers and Elektronics in Agrikulture*. 2016; 128: 58-66. (In English)
11. Druzhinin E.A., Kritskiy D. N., Zakharchuk A.I. Features of the mass model of an unmanned aerial vehicle. *Sistema obrobki informatsii*. 2013; 1(108): 44-48. (In Russian)
12. Priymak A. V., Syulev K.V., Ryzhuk I. A., Kuprienko A.V. Mathematical model of the choice of the basic parameters of an unmanned aerial vehicle for solving typical tasks of searching for ground targets. *Zbirnik naukovikh prats' Kharkivs'kogo universitetu Povitryanikh Sil*. 2013; 2(35): 28-32. (In Russian)
13. Zakharchuk A.I., Yashin S.A., Ryabkov V.I. Features of mass balance of unmanned civil aircraft in the second approximation priblizhenii. *Otkrytye informatsionnye i komp'yuternye tekhnologii*. 2013; 58: 55-62. (In Russian)

Критерии авторства. Все авторы несут ответственность за представленные в статье сведения и плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution. The authors are responsible for information and plagiarism avoiding.

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



УДК 631.133.6

DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-3-17-23

ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЕ ВНЕСЕНИЕ УДОБРЕНИЙ И ПЕСТИЦИДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Марченко Л.А.*,
канд. техн. наук;
Личман Г.И.,
докт. техн. наук;

Смирнов И.Г.,
канд. техн. наук;
Мочкова Т.В.,
канд. с.-х. наук;

Колесникова В.А.,
канд. техн. наук

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Российская Федерация, *e-mail: naukavim@mail.ru

Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в сельском хозяйстве является инновацией для России и имеет большой потенциал, особенно при реализации задач точного земледелия. Рассмотрены направления использования БПЛА в сельском хозяйстве. Показано, что для дифференцированного внесения удобрений и пестицидов наиболее целесообразно использовать БПЛА вертолетного и винтокрылого типов, летающие на малых скоростях (30-40 км/ч) и небольших высотах (0,5-1,5 м) с большой полезной нагрузкой (300-400 кг), поскольку они наиболее полно соответствуют экологическим и природоохранным требованиям и обеспечивают безопасность функционирования современных систем «человек – машина». Разработаны основные требования к качеству выполнения технологической операции по дифференцированному внесению удобрений и пестицидов с помощью беспилотных летательных аппаратов: нормы внесения рабочих жидкостей удобрений 50-200 л/га с дискретностью доз 10-15 кг д.в./га (25-40 л/га), пестицидов – 10-20 л/га с дискретностью доз 5 л/га, медианно-массовый диаметр капель – 250-300 мкм, неравномерность распределения рабочей жидкости по ширине захвата – не более 15 процентов, снос рабочих жидкостей за пределы обрабатываемого участка – не более 20 процентов, время установки заданной дозы на границах выделенных участков – не более 1,1 с; рабочая скорость полета – не более 40 км/ч, высота полета при внесении удобрений и пестицидов – 1,0-1,5 м.

Ключевые слова: точное земледелие, беспилотные летательные аппараты, почвенное плодородие, фитосанитарное состояние посевов, внутриапольная вариабельность, дифференцированное внесение удобрений и пестицидов.

■ **Для цитирования:** Марченко Л.А., Личман Г.И., Смирнов И. Г., Мочкова Т.В., Колесникова В.А. Дифференцированное внесение удобрений и пестицидов с использованием беспилотных летательных аппаратов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. №3. С. 17-23

VARIABLE RATE APPLICATION OF FERTILIZERS AND PESTICIDES USING UNMANNED AERIAL VEHICLES

Marchenko L.A.*,
Ph.D.(Eng.);
Lichman G.I.,
D.Sc.(Eng.);

Smirnov I.G.,
Ph.D.(Eng.);
Mochkova T.V.,
Ph.D.(Agr.);

Kolesnikova V.A.,
Ph.D.(Eng.)

Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM, 1st Institutskiy proezd, 5, Moscow, 109428, Russian Federation, *e-mail: naukavim@mail.ru

The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) in agriculture is an innovation for Russia and has great potential, especially when implementing the tasks of precision farming. The directions of using UAV in agriculture are considered. It is shown that for the differentiated application of fertilizers and pesticides, it is most expedient to use UAVs of helicopter and rotary-wing type flying at low speeds (30-40 km/h) and low altitudes (0.5-1.5 m) with a large payload (300-400 kg), as they most fully meet ecological and environmental requirements and ensure the safety of modern human-machine systems. The basic requirements to the quality of the technological operation for the variable rate application of fertilizers and pesticides with the help of unmanned aerial vehicles have been developed: the rate of application of fertilizer working fluids 50-200 l/ha

with a discreteness of doses of 10-15 kg active fraction per hektar (25-40 l/ha), pesticides –10-20 l/ha with discreteness of 5 l/ha, median mass diameter of droplets – 250-300 mkm, uneven distribution of working fluid over the operating width is no more than 15 percent, demolition of working fluids outside the treated area is no more than 20 percent, time of control index setting at the boundaries of the allocated plots is no more than 1.1 s; operating speed of the flight is not more than 40 km/h, the altitude of the flight when applying fertilizers and pesticides equals 1.0-1.5 m.

Keywords: Precision agriculture; Unmanned aerial vehicles; Soil fertility; Phytosanitary state of crops; Intrafield variability; Variable rate application of fertilizers and pesticides.

For citation: Marchenko L.A., Lichman G.I., Smirnov I.G., Mochkova T.V., Kolesnikova V.A. Variable rate application of fertilizers and pesticides using unmanned aerial vehicles. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017; 3: 17-23. DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-3-17-23. (In Russian)

Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в сельском хозяйстве для России имеет большой потенциал. С каждым годом интерес к их использованию растет, особенно при реализации задач точного земледелия [1-3].

В настоящее время БПЛА широко используют для получения оперативной информации о состоянии сельскохозяйственных угодий: оценки состояния биомассы растений по нормализованному вегетационному индексу (*NDVI*), распознавания ареалов распространения болезней и вредителей культурных растений, оценки эродированности и влажности почвы, содержания в ней основных питательных элементов, состояния почвенного покрова (изреженность посевов после перезимовки, их полнота, фазы развития растений). Съемка наземного покрова с использованием БПЛА – наиболее дешевая и оперативная альтернатива использованию спутников при проведении картографирования и мониторинга почв и посевов на уровне отдельных полей, поскольку обеспечивает высокое пространственное разрешение и возможность подоблачной съемки. Кроме того, применяемые для мониторинга сельскохозяйственных земель специализированные БПЛА (Геоскан101, Птеро-СМ, Supercam S350f, Trimble UX5, Геоскан200) не требуют взлетно-посадочных полос, взлетая с катапульты или с руки оператора и приземляясь на парашютной основе в отличие от аппаратов самолетного типа [4, 5].

Существующие технологии дифференцированного внесения удобрений и химических средств защиты растений в системе точного земледелия осуществляют как правило наземной техникой. Предназначенные для этого машины невозможно использовать при повышенной влажности почвы, на сложных рельефах поля, горных склонах, в поздние периоды роста и развития зерновых и высокостебельных культур (кукуруза, подсолнечник, рапс) и в сжатые агротехнические сроки из-за низкой производительности, что приводит к рискам, связанным с недобором урожая и снижением его качества, убыткам сельхозтоваропроизводителей.

В этой связи особую актуальность приобретает использование БПЛА не только для составления карт-заданий, но и для дифференцированного внесения удобрений и пестицидов в системе точного земледелия.

Цель исследований – обосновать оптимальные параметры технологии и режимы работы устройства для дифференцированного внесения минеральных удобрений и пестицидов с помощью БПЛА в системе точного земледелия.

Материалы и методы. Выбор и обоснование основных параметров технологии дифференцированного внесения удобрений и пестицидов проведены на основании Федерального регистра технологий производства продукции растениеводства (система технологий) и Методических рекомендаций по применению средств химизации в системе точного земледелия [6-8]. Время установки заданной дозы внесения рабочей жидкости удобрений на границе выделенных участков в соответствии с картой-заданием определяли путем взвешивания улавливающих поверхностей, расположенных на границах участков до и после прохождения опытного образца машины для дифференцированного внесения агрохимикатов на заданном участке поля.

Результаты и обсуждение. При дифференцированном внесении удобрений и пестицидов в режиме *off-line* карту-задание на выполнение технологической операции вводят в бортовой компьютер, который с помощью навигационного оборудования определяет местоположение машины-удобрителя на поле и в соответствии с информацией, содержащейся в карте-задании, определяет норму внесения рабочей жидкости удобрения, рассчитанную с учетом пространственной неоднородности почвенного плодородия на каждом выделенном участке поля, и передает команду на исполнительные механизмы, осуществляющие дозирование и внесение удобрений. Этот процесс происходит с некоторой задержкой и как следствие приводит к несоответствию заданной дозы внесения и фактической. В соответствии с агротехническими требованиями отклонение фактической дозы внесения от

заданной не должно превышать 10%, то есть:

$$\frac{D_{\text{факт.}} - D_{\text{зад.}}}{D_{\text{зад.}}} \cdot 100 \leq 10\%, \quad (1)$$

где $D_{\text{факт.}}$ – фактическая доза внесения рабочей жидкости, л/га;

$D_{\text{зад.}}$ – заданная доза внесения рабочей жидкости, л/га.

Однако неоднократное изменение дозы внесения удобрений по ходу движения агрегата усложняет выполнение указанной задачи, так как в момент перехода с одной дозы на другую в соответствии с картой-заданием неравномерность внесения удобрений увеличивается, что снижает прибавку урожая от удобрений на плодородных почвах на 35-45% [9-10].

Устранить несоответствие фактических доз внесения удобрений карте-заданию, обусловленное запаздыванием или опережением начала поступления удобрений дозой на i -й участок, можно путем корректирования размещения приемника сигналов ГЛОНАСС или GPS на агрегате.

Месторасположение приемника сигналов следует рассчитывать по формуле:

$$L_{\text{прием.}} = L_a - v_a t_3, \quad (2)$$

где $L_{\text{прием.}}$ – величина смещения приемника сигналов относительно передней линии трактора, м;

L_a – общая длина трактора и посевной машины, м;

v_a – скорость движения агрегата, км/ч.

t_3 – время запаздывания, ч.

Разработанный алгоритм может быть использован при разработке программного обеспечения контроля и управления работой устройств для дифференцированного внесения удобрений и других средств химизации наземной техникой и летательными аппаратами, работающими в системе *off-line*.

Время задержки установки дозы складывается из времени получения бортовым компьютером данных GPS (считывание сигнала GPS), определения положения машины на карте внесения, подачи на контроллер сигнала о требуемой норме расхода рабочей жидкости на данном участке поля, перенастройки рабочих органов дозирования и внесения удобрений.

При дифференцированном внесении удобрений в режиме *on-line* время установки заданной дозы складывается из времени сканирования сенсорными датчиками растительного покрова, передачи показаний и их обработки в соответствии с тарифовочными графиками для заданной культуры в принятом программном обеспечении, выдачи контроллеру опрыскивателя значения нормы внесения рабочей жидкости удобрений или пестицидов.

Исследования показали, что время перенастройки дозирующего аппарата машины для диф-

ференцированного внесения твердых удобрений с одной дозы на другую при средней дозе внесения 60-90 кг д.в./га составляет 2-3 с.

По зарубежным данным, точное внесение заданных доз рабочих жидкостей удобрений на выделенных картой-заданием участках обеспечивается машиной для дифференцированного внесения удобрений при скорости 3 м/с (10,8 км/ч) [11-13].

При дифференцированном внесении твердых удобрений отклонение фактической дозы от заданной зависит не от конструкции туковысевающего аппарата, а от значения минимальной на двух смежных участках дозы внесения и величины ее изменения на их границе. Результаты исследований показали, что отклонение дозы не превысит 10% при условии, если изменение дозы при переходе с одной дозы на другую на границе участков не превышает величину, равную 0,222 от минимальной дозы на одном из этих участков [14].

Время установки заданной дозы рабочей жидкости удобрений и пестицидов зависит от способов ее дозирования. Так, в машинах с системами прямого внесения пестицидов, когда заданный препарат впрыскивается в систему подачи воды, время задержки колеблется от 15 до 55 с [15]. Для сокращения указанного времени созданы 3-камерные опрыскиватели для различных рабочих жидкостей или пестицидов, в управлении которых задействованы 3 бортовых компьютера и 3 контроллера [15, 16].

Время задержки установки заданной дозы рабочей жидкости, регулируемой путем изменения рабочего давления, составляет 2,35 с в связи с запаздыванием сигнала GPS и действий контрольного клапана [15].

Существуют различные способы классификации влияния задержки на отклик системы. Согласно исследованиям, время отклика определяется временем, затрачиваемым для перехода от 10 до 90% заданного значения дозы. Точность внесения заданной дозы обратно пропорциональна времени отклика [13].

Результаты проведенных нами исследований показали, что время установки заданной дозы внесения рабочих жидкостей опытным образцом машины для дифференцированного внесения удобрений на границах выделенных участков поля не превышает 2 с при скорости движения 8 км/ч (рис. 1). Площадь переходной зоны составляет 96 м² при ширине захвата агрегата 24 м. Следовательно, для дифференцированного внесения агрохимикатов с помощью БПЛА с рабочей скоростью полета 30-40 км/ч и шириной захвата 8 м необходимо использовать быстродействующие электрогидравлические клапаны, обеспечивающие установку заданных доз на границах смежных участков за время не

более 1,1 с.

Погрешность установки заданной дозы на границах выделенных картой-заданием участков, зависит от точности работы GPS-системы в динамических условиях, высоты обработки, скорости полета, скорости и направления ветра, времени установленного для компенсации запаздывания GPS-антенны, и реагирования гидравлической системы [13-15]. Причем на границе смежных участков средняя ошибка места осаждения капель составила 5,1

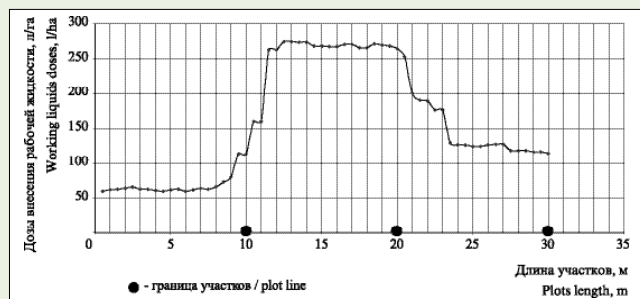


Рис. 1. Изменение доз внесения рабочих жидкостей удобрений опытным образом машины для дифференцированного внесения агрохимикатов

Fig. 1. Change in the doses of application of fertilizer working liquids by prototype of the machine for differentiated application of agrochemicals

м, средняя погрешность установки дозы – 3,04% при изменении доз от 28 до 56 л/га [13].

Средние дозы внесения жидких азотных удобрений (КАС) и жидких комплексных удобрений (ЖКУ) под зерновые культуры в основное внесение, под предпосевную культивацию в основных зерносеющих регионах страны составляют 60-90 кг д.в./га, то есть 150-230 л/га указанных удобрений плотностью 1,3 кг/см³. Средняя разовая доза внесения КАС в первую ранневесеннюю подкормку зерновых культур составляет не более 45 кг N на 1 га.

Следовательно, при внесении КАС без разбавления вместимость бака БПЛА должна быть не менее 150 л, при разбавлении 1:1 – не менее 300 л.

Во избежание ожогов растений зерновых культур в последующие фазы развития, а в отдельных случаях и в фазу кушения, некорневые подкормки КАС производят менее концентрированными растворами (при разбавлении водой 1:2 или 1:3). Для внесения средней дозы азота в эти фазы, равной 30 кг/га, необходимо, соответственно, 200 или 300 л рабочей жидкости [17, 18].

При внесении пестицидов, разрешенных к применению с помощью авиации, расход рабочей жидкости должен составлять 20-50 л/га. Следовательно, вместимость бака для рабочих жидкостей, равная 200 л, вполне достаточна для производительной работы БПЛА.

Известно, что производительность обработки

посевов летательными аппаратами зависит от норм внесения рабочей жидкости, полезной нагрузки и рабочей скорости полета. Мы установили зависимость площади обработки от норм внесения рабочих растворов при различных значениях грузоподъемности летательного аппарата (рис. 2).

Следовательно, для обеспечения высокой производительности дифференцированного внесения удобрений и пестицидов необходимо использовать БПЛА с полезной нагрузкой не менее 300-400 кг.

Скорость полета БПЛА вертолетного типа не должна превышать 40 км/ч. Иначе увеличивается снос мелких капель рабочей жидкости из зоны обработки, то есть исчезают его преимущества по сравнению с самолетом в характере осаждения об-

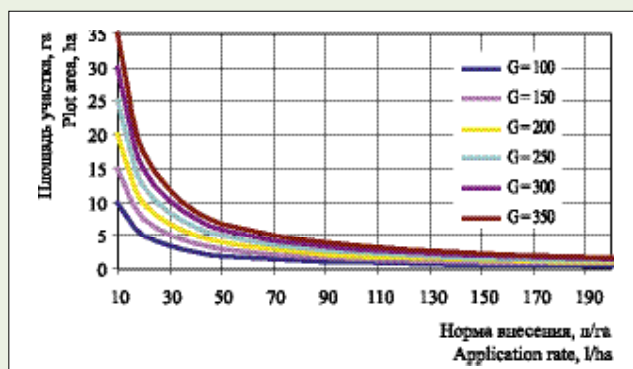


Рис. 2. Зависимость площади обработанного поля от нормы внесения рабочей жидкости удобрений при различных значениях грузоподъемности летательного аппарата

Fig. 2. Dependence of the area of the treated field on the application rate of working fluid of fertilizers at various values of carrying capacity of the aircraft

разующегося облака рабочей жидкости [19].

При переходе на методологию точного земледелия для каждой планируемой технологической операции внесения удобрений следует определить число градаций доз. Ограничительными уровнями при определении градаций доз внесения удобрений являются способность ее достоверно влиять на урожайность возделываемых культур и величина затрат на исполнение технологической программы при перенастройке органов машины перед каждым переходом на последующий выделенный элементарный участок. Увеличение числа градаций приводит к повышению числа контуров и затрат на получение необходимой информации об их почвенном плодородии.

Анализ результатов полевых опытов Географической сети в Нечерноземной зоне по основным культурам (из зерновых – по озимой пшенице и ячменю, из пропашных – по картофелю и сахарной свекле) показывает, что прибавка урожая на каждые 10 кг д.в. удобрения колебалась в определенных пределах (таблица).

В пределах допустимого 10%-ного уровня точности проводимых опытов, а также в соответствии с агротехническими требованиями к внесению жидких минеральных удобрений возможно установить градацию доз для дифференцированного применения в следующих размерах:

для зерновых – 10 кг N , 15 кг P_2O_5 и 15 кг K_2O ;

для картофеля и сахарной свеклы – 20 кг N , 20 кг P_2O_5 и 20 кг K_2O .

Table		Таблица	
ПРИБАВКА УРОЖАЯ НА КАЖДЫЕ 10 КГ Д.В. УДОБРЕНИЯ, % HARVEST INCREASE ON EACH 10 KG OF ACTIVE INGREDIENT OF FERTILIZERS, %			
Культуры / Crop	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Озимая пшеница Winter wheat	3,4-4,9	1,2-3,0	1,2-3,3
Ячмень Barley	1,7-5,0	1,3-2,1	0,4-2,1
Картофель Potatoc	1,2-1,8	0,9-1,6	0,5-1,5
Сахарная свекла Sugar beet	0,7-1,8	0,6-1,9	0,5-1,5

Установленная дискретность доз азотных удобрений согласуется с результатами исследований эффективности азотных удобрений в 582 краткосрочных полевых опытах с районированными сортами пшеницы, возделываемой по фосфорно-калийному фону (40-60 РК) [20].

Проведен анализ факторов, влияющих на качество внесения удобрений с помощью авиации. Качество распределения рабочих жидкостей при авиационно-химических работах в силу особенностей процесса формирования и осаждения волны веществ в поле индуктивных скоростей воздушного судна зависит прежде всего от выбора рациональных технологических параметров обработок (скорости и высоты полета, расхода рабочих жидкостей, диспергирования, выбора и размещения форсунок) в соответствии с внешними условиями. Главное отличие авиационного опрыскивания от наземного заключается в повышенном сносе мелких капель рабочей жидкости за пределы обрабатываемого поля из-за большой высоты полета и из-за влияния образующихся аэродинамических возмущений. При этом превышение ПДК действующего вещества пестицида в приземном слое атмосферы в зависимости от скорости боковой составляющей ветра может достигать от нескольких сотен метров до нескольких километров [21]. Руководством по авиационным работам ИКАО установлено, что величина сноса агрохимикатов ветром служит главным критерием выбора воздушных судов в целом и вертолетов в частности для их использования в сельскохозяйственных авиационных работах [22].

В соответствии с СанПиН «Гигиенические тре-

бования к безопасности процессов испытаний, хранения, перевозки, реализации, применения, обезвреживания и утилизации пестицидов и агрохимикатов» обработку полей с использованием авиации проводят при скорости ветра не более 4 м/с. Высота полета при авиационно-химических работах регламентируется Федеральными авиационными правилами «Подготовка и выполнение полетов в гражданской авиации Российской Федерации» и составляет при обработке участков (полей, садов, виноградников и т.п.) в равнинной местности не ниже 5 м, а над верхушками отдельных деревьев леса не ниже 10 м. Установлено, что при предельно допустимых для внесения средств защиты растений значениях метеоусловий критический размер полностью испарившихся капель может достигать 120 мкм при авиаопрыскивании с высоты полета 5 м. В этой связи с технологических позиций минимизации непроизводительных потерь пестицидов и удобрений от сноса и испарения при авиационном способе внесения необходимо использовать БПЛА, оснащенные пилотажно-навигационными комплексами для низковысотного полета, обеспечивающими автоматический полет летательного аппарата на всех режимах, безопасный полет на высоте 1,0-1,5 м с огибанием рельефа сельскохозяйственного поля, уход от возможных препятствий, поддержание связи с наземной системой контроля и управления, а также с другими летательными аппаратами в рамках самоорганизующейся mesh-сети, управление полезной нагрузкой в режиме реального времени с дифференциацией норм внесения и монодисперсным распылом рабочей жидкости с диаметром капель не менее 250-300 мкм.

Выводы

Анализ типоразмеров и летно-технических характеристик беспилотных летательных аппаратов показывает, что для дифференцированного внесения удобрений и пестицидов наиболее целесообразно использовать БПЛА вертолетного и винтокрылого типов, летающие на малых скоростях (30-40 км/ч) и небольших высотах (1,0-1,5 м) с большой полезной нагрузкой (300-400 кг). Они наиболее полно удовлетворяют экологическим и природоохранным требованиям и обеспечивают безопасность функционирования современных систем «человек – машина».

Разработаны основные требования к качеству выполнения технологической операции по дифференцированному внесению удобрений и пестицидов с помощью БПЛА: нормы внесения рабочих жидкостей удобрений 50-200 л/га с дискретностью доз 10-15 кг д.в./га (25-40 л/га), пестицидов – 10-20 л/га с дискретностью доз 5 л/га, медианно-массовый диаметр капель – 250-300 мкм, неравномерность распределения рабочей жидкости по шири-

не захвата – не более 15%, снос рабочих жидкостей за пределы обрабатываемого участка – не более 20%, время установки заданной дозы на границах

выделенных участков – не более 1,1 с; рабочая скорость полета – не более 40, км/ч, высота полета при внесении удобрений и пестицидов – 1,0-1,5 м.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Инновационные механизированные технологии и автоматизированные технические системы для сельского хозяйства // Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем: Сборник докладов XII Международной научно-практической конференции. Ч. 1. М.: ВИМ. 2012. С. 31-44.
2. Измайлов А.Ю., Гришин А.А., Гришин А.П., Лобачевский Я.П. Экспериментальные системы интеллектуальной автоматизации технических средств сельскохозяйственного назначения // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий: Сборник докладов Международной научно-технической конференции. М.: ВИМ, 2014. С. 379-382.
3. Михайленко И.М. Беспилотная авиация в сельском хозяйстве // Агрофизика. 2015. N2. С. 16-23.
4. Корнилов Т.В. Перспективы применения беспилотной авиации // Защита и карантин растений. 2008. N5. С. 48-49.
5. Годжаев З.А., Марченко Л.А., Степанов Б.Е., Козлова А.И. Автожир для внесения жидких средств химизации и обоснование его технологических параметров // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. N2. С. 22-25.
6. Личман Г.И., Марченко Н.М. Использование космического мониторинга и дистанционного зондирования в системе точного земледелия // Геоматика. 2011. N4. С. 89-93.
7. Савин И.Ю., Вернюк Ю.И., Фараслис И. Возможности использования беспилотных летательных аппаратов для оперативного мониторинга продуктивности полей // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2015. Вып. 80. С. 95-105.
8. Измайлов А.Ю., Артюшин А.А., Колесникова В.А., Личман Г.И., Марченко Н.М., Марченко А.Н., Марченко Л.А., Мочкова Т.В., Смирнов И.Г. Методические рекомендации по применению средств химизации в системе точного земледелия. М.: ВИМ, 2016. 100 с.
9. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Управление и информационное обеспечение инновационными технологическими процессами в растениеводстве // Автоматизация и информационное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве: Сборник докладов Международной научно-технической конференции. Ч. 1. М.: ВИМ, 2010. С. 47-58.
10. Личман Г.И., Марченко Н.М., Колесникова В.А., Марченко А.М. Переходные режимы дозирующих органов машин для внесения удобрений // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2010. N4. С. 30-34.
11. Forouzanmehr E., Loghavi M. Design, development and field evaluation of a map-based variable rate granular fertilizer application control system. CIGR Journal. 2012; 14 (4): 255. URL: <http://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/1977> (Accessed 05.05.2017).
12. Chattha H.S. Evaluation of a modified variable rate granular fertilizer spreader for spot-specific fertilization in wild blueberry fields. Submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science at Dalhousie University Halifax, Nova Scotia. 2013: 129.
13. Thomson S.J., Smith L.A., Hanks J.E. Evaluation of Application Accuracy and Performance of a Hydraulically Operated Variable-Rate Aerial Application System. Transactions of the ASABE. 2009; 52(3): 715-722.
14. Пономаренко И.Г. Повышение качества дифференцированного внесения минеральных удобрений в режиме off-line // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. N2. С. 48-51.
15. Anglund E.A., Ayers P.D. Field Evaluation of Response Times for Variable (Pressure – Based and Injection) Liquid Chemical Applicator. Applied Engineering in Agriculture. 2003. Vol. 19(3): 273-282 (doi: 10.13031/2013.13659).
16. Шпаар Д., Захаренко А. В., Якушев В.П. и др. Точное сельское хозяйство (Precision Agriculture). СПб., Пушкин, 2009. 397 с.
17. Кормановский Л.П., Колесникова В.А., Мочкова Т.В. и др. Технология и технические средства для применения жидких минеральных удобрений. М.: Колос, 1995. 126 с.
18. Мочкова Т.В., Башкирова Т.Н., Марченко Л.А. Агрохимические аспекты дифференцированного применения жидких средств химизации // Система технологий и машин для инновационного развития АПК: Сборник научных докладов научно-технической конференции. Ч. 2. М.: ВИМ, 2013. С. 276-279.
19. Никитин Н.В., Спиридонов Ю.Я., Шестаков В.Г. Научно-практические аспекты технологии применения современных гербицидов в растениеводстве. М.: Печатный Город, 2010. 200 с.
20. Аникст Д.М. Удобрение яровой пшеницы. М.: Россельхозиздат, 1986. 142 с.
21. Горбачев И.В., Марченко Л.А., Кузьмин А.Ю. Технологические аспекты внесения пестицидов // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2011. N6. С. 13-16.
22. Лысов А.К. Оценка физических потерь рабочей жидкости при опрыскивании // Материалы международного конгресса «Агрорусь 2014». СПб.: ЭФ-Интернэшнл, 2014. С. 174.



REFERENCES

1. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. Innovative mechanized technologies and the automated technical systems for agriculture. *Modernizatsiya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na baze innovatsionnykh mashinnykh tekhnologiy i avtomatizirovannykh sistem*: Sbornik dokladov XII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Vol. 1. Moscow: VIM, 2012: 31-44. (In Russian)
2. Izmaylov A.Yu., Grishin A.A., Grishin A.P., Lobachevskiy Ya.P. Experimental systems of intellectual automation of technical means of agricultural purpose. *Innovatsionnoe razvitiye APK Rossii na baze intellektual'nykh mashinnykh tekhnologiy*: Sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Moscow: VIM, 2014: 379-382. (In Russian)
3. Mikhaylenko I.M. Small unmanned aircraft in agriculture. *Agrofizika*. 2015; 2: 16-24. (In Russian)
4. Kornilov T.V. Prospects for use of small unmanned aircraft. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2008; 5: 48-51. (In Russian)
5. Godzhaev Z.A., Marchenko L.A., Stepanov B.E., Kozlova A.I. Agiropplane for application of liquid products of chemicalization and its technological parameters justification. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016; 2: 22-27. (In Russian)
6. Lichman G.I., Marchenko N.M. Use of space monitoring and remote sensing in the system of precise agriculture. *Geomatika*. 2011; 4: 89-93. (In Russian)
7. Savin I.Yu., Vernyuk Yu.I., Faraslis I. The possible use of pilotless aircrafts for operative monitoring of soil productivity. *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva*. 2015; 80: 95-105. (In Russian)
8. Izmaylov A.Yu., Artyushin A.A., Kolesnikova V.A., Lichman G.I., Marchenko N.M., Marchenko A.N., Marchenko L.A., Mochkova T.V., Smirnov I.G. Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu sredstv khimizatsii v sisteme tochnogo zemledeliya [Methodical recommendations about application of means of chemicalization in precision agriculture system]. Moscow: VIM. 2016: 100. (In Russian)
9. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. Management and information support by innovative technological processes in plant industry. *Avtomatizatsiya i informatsionnoe obespechenie proizvodstvennykh protsessov v sel'skom khozyaystve*: Sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Vol. 1. Moscow: VIM, 2010: 47-58. (In Russian)
10. Lichman G.I., Marchenko N.M., Kolesnikova V.A., Marchenko A.M. Transitional modes of dosing elements of machines for fertilization. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2010; 4: 30-34. (In Russian)
11. Forouzanmehr E., Loghavi M. Design, development and field evaluation of a map-based variable rate granular fertilizer application control system. *CIGR Journal*. 2012; 14(4): 255. URL: <http://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/1977> (Accessed 05.05.2017). (In English)
12. Chattha H.S. Evaluation of a modified variable rate granular fertilizer spreader for spot-specific fertilization in wild blueberry fields. Submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science at Dalhousie University Halifax, Nova Scotia. 2013: 129. (In English)
13. Thomson S.J., Smith L.A., Hanks J.E. Evaluation of Application Accuracy and Performance of a Hydraulically Operated Variable-Rate Aerial Application System. *Transactions of the ASABE*. 2009; 52(3): 715-722. (In English)
14. Ponomarenko I.G. Improvement of quality of the differentiated mineral fertilizers application in the on-line mode. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2014; 2: 48-51. (In Russian)
15. Anglund E.A., Ayers P.D. Field Evaluation of Response Times for Variable (Pressure – Based and Injection) Liquid Chemical Applicator. *Applied Engineering in Agriculture*. 2003. Vol. 19(3): 273-282 (doi: 10.13031/2013.13659). (In English)
16. Shpaar D., Zakharenko A. V., Yakushev V.P., et al. Precision Agriculture. St.Petersburg, Pushkin, 2009: 397. (In Russian)
17. Kormanovskiy L.P., Kolesnikova V.A., Mochkova T.V., et al. Tekhnologiya i tekhnicheskie sredstva dlya primeneniya zhidkikh mineral'nykh udobreniy [Technology and technical means for liquid mineral fertilizers application]. Moscow: Kolos, 1995: 126. (In Russian)
18. Mochkova T.V., Bashkirova T.N., Marchenko L.A. Agrochemical aspects of differentiated application of liquid chemicals. *Sistema tekhnologiy i mashin dlya innovatsionnogo razvitiya APK*: Sbornik nauchnykh dokladov nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Vol. 2. Moscow: VIM, 2013: 276-279. (In Russian)
19. Nikitin N.V., Spiridonov Yu.Ya., Shestakov V.G. Nauchno-prakticheskie aspekty tekhnologii primeneniya sovremennykh gerbitsidov v rastenievodstve [Scientific and practical aspects of technology of modern herbicides application in crop production]. Moscow: Pechatnyy Gorod, 2010: 200. (In Russian)
20. Anikst D.M. Udobrenie yarovoy pshenitsy [Spring wheat fertilization]. Moscow: Rossel'khozizdat, 1986: 142. (In Russian)
21. Gorbachev I.V., Marchenko L.A., Kuz'min A.Yu. Technological aspects of pesticides introduction. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2011; 6: 13-16. (In Russian)
22. Lysov A.K. Assessment of physical losses of working liquid when spraying. *Materialy mezhdunarodnogo kongressa «Agrorus' 2014»*. SPb.: EF-Interneshnl, 2014: 174. (In Russian)

Критерии авторства. Все авторы несут ответственность за представленные в статье сведения и плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution. The authors are responsible for information and plagiarism avoiding.

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

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВЫРЕЗНОГО ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ДИСКА

Лобачевский Я.П.¹,
докт. техн. наук, член-корр. РАН;

Старовойтов С.И.^{2*},
канд. техн. наук

¹Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Российская Федерация

²Брянский государственный аграрный университет, ул. Советская, 2а, с. Кокино, Выгоничский район, Брянская обл., 243365, Российская Федерация, *e-mail: starovoitov.si@mail.ru

Установили, что дисковые рабочие органы подразделяются по сплошности лезвийной части, форме диска и выреза, характеру выреза. Предположили, что снижение энергоемкости при внедрении сегмента сферического вырезного диска достижимо при трансформации внешней режущей кромки в сторону вогнутой поверхности рабочего органа, что соответствует сложному виду нагружения. Разработали методику расчета энергоемкости при внедрении передней режущей кромки и кривых, формирующих поверхность сегмента. При внедрении площадка кривой испытывает действие нормальных и касательных усилий со стороны почвы. Координаты точек кривых поверхности трансформированного сегмента получены расчетным путем. С использованием программы *SPSS Statistics* кривые аппроксимированы квадратной параболой. Геометрические параметры диска, угол атаки, поступательная скорость движения учтены через траекторию заглубления, которая также аппроксимируется квадратной параболой. Почва как объект обработки представлена коэффициентом деформации, углом внешнего трения, пределом прочности на сжатие. Расчет осуществлялся при следующих исходных данных: величина горизонтального единичного интервала равна 0,005 м; величина вертикального единичного интервала – 0,004 м; абсолютная влажность суглинистой почвы – 20,73 процента; твердость – 3,3 МПа; ширина кривых крошения – 0,001 м; предел прочности почвы на сжатие – 154 175 Па; нормальные напряжения, соответствующие коэффициенту деформации почвы, составили 45 178 Па. Доказали, что при трансформации на углы 1, 2 и 3 градуса внешней режущей кромки на суглинистых почвах среднее значение горизонтальной составляющей тягового сопротивления меньше анализируемой величины на 15,52; 15,79 и 13,55 процента соответственно. Минимальной величиной среднего тягового сопротивления обладает сегмент с углом трансформации внешней режущей кромки 2 градуса.

Ключевые слова: обработка почвы, почворежущие рабочие органы, вырезной диск, тяговое сопротивление.

■ Для цитирования: Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И. Расчет параметров вырезного почвообрабатывающего диска // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. №3. С. 24-28

DETERMINATION OF CUTTING TILLAGE DISK PARAMETERS

Lobachevskiy Ya.P.¹,
D.Sc.(Eng.), corr. member of RAS;

Starovoytov S.I.^{2*},
Ph.D.(Eng.)

¹Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM, 1st Institutskiy proezd, 5, Moscow, 109428, Russian Federation, e-mail: vim@vim.ru

²Bryansk State Agrarian University, Sovetskaya St., 2a, vil. Kokino, Vygonichi district, Bryansk region, 142660, Russian Federation, *e-mail: starovoitov.si@mail.ru

Disk working elements are classified by continuity of the blade, forms of the disk and cutout and type of the cutout. Decrease in power consumption while introducing a segment of a spherical cut disk is possible at transformation of the external cutting edge towards a concave surface of the working element that corresponds to a difficult type of loading. The methods of calculation of power consumption at introduction of the forward cutting edge and curves forming a segment surface were developed. Normal and tangent efforts from the soil affect the platform of the curve when penetration. The coordinates of curve points of the transformed segment surface can be received by calculation. With usage of the *SPSS Statistics* program the curves are approximated by a square parabola. Geometrical parameters of the disk, an angle of attack, the travel speed of the movement are considered through a deepening trajectory which is also approximated by a

square parabola. The soil as an object of processing is presented by deformation coefficient, the angles of external friction, compressive strength. The calculation was performed at the following basic data: the size of a horizontal single interval is 0.005 m; the size of a vertical single interval is 0.004 m; the absolute humidity of the loamy soil equals 20.73 percent; the hardness is 3.3 MPa; the width of crumbling curves is 0.01 m; the limit of soil solidity on compression is 154 175 Pa; the normal tensions corresponding to coefficient of the soil deformation made 45 178 Pa. When in loamy soil external cutting edge transformation is 1, 2 and 3 degrees, so an average value of a horizontal component of traction resistance is less than the analyzed size by 15,52, 15,79 and 13,55 percent respectively. The segment with the transformation angle of the external cutting edge equaled 2 degrees has a minimum value of average traction resistance.

Keywords: Soil cultivation; Soil-cutting working elements; Cut disk; Traction resistance.

For citation: Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I. Determination of cutting tillage disk parameters. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017; 3: 24-28. DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-3-24-28. (In Russian)

Обработка почвы почворезущими рабочими органами (лемехами, стрельчатыми и доло-тообразными культиваторными лапами, дисковыми рабочими органами) остается энерго-емкой и востребованной операцией в производстве сельхозкультур [1-4].

Дисковые рабочие органы можно дифференцировать по сплошности поверхности, форме диска и выреза, по характеру выреза. Классификация дисковых рабочих органов по сплошности поверхности подразумевает наличие сплошных и вырезных дисков. По форме поверхности дисковые рабочие органы подразделяются на плоские, сферические, конические, рифленые. Вырез может быть округлым или трапецидальным, симметричным или асимметричным [5-7].

Сегмент сферического вырезного диска с округлым симметричным вырезом имеет переднюю, внешнюю, заднюю режущие кромки. Процесс воздействия сегмента на почву включает три фазы: внедрение, движение в почве, выход из нее. В зависимости от глубины обработки в почве могут находиться одновременно 2 или 3 сегмента.

При внедрении сегмента передняя и внешняя режущие кромки его в совокупности с поверхностью оказывают воздействие на почву. Если трансформировать внешнюю режущую кромку в сторону вогнутой поверхности, то сегмент будет работать в условиях сложного нагружения при снижении энергоемкости процесса [8-10]. При трансформации будут также отклонены области сегмента, прилегающие к внешней и задней режущим кромкам.

Важно обосновать целесообразную величину угла трансформации внешней режущей кромки при работе вырезного диска на суглинистых почвах.

Цель исследования – теоретическое обоснование величины угла трансформации внешней режущей кромки сегмента при взаимодействии с суглинистой почвой.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Энергоемкость внедрения сегмента вырезного диска в почву:

$$A = A_1 + A_2, \quad (1)$$

где A – энергоемкость внедрения сегмента, Дж;

A_1 – энергоемкость внедрения поверхности сегмента, Дж;

A_2 – энергоемкость внедрения передней режущей кромки, Дж.

На рисунке 1 изображен сегмент вырезного диска. Передняя режущая кромка ae представлена совокупностью элементарных составляющих ab, bc, cd, de . Работа каждой при внедрении в почву равна:

$$A_{эрк} = \sigma_{с.жс} S_{кр} \Delta h, \quad (2)$$

где $A_{эрк}$ – энергоемкость внедрения элементарной составляющей режущей кромки, Дж;

$\sigma_{с.жс}$ – предел прочности суглинистой почвы на сжатие, Па;

$S_{кр}$ – площадь фрагмента режущей кромки, м²;

Δh – единичный шаг заглубления, м.

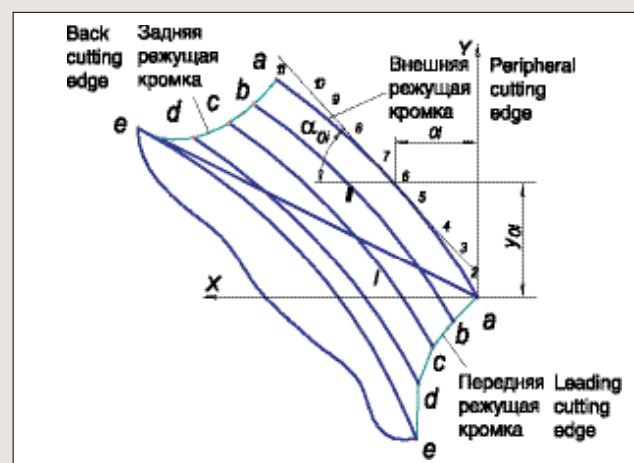


Рис. 1. Сегмент вырезного диска

Fig. 1. Cut disk segment

Энергоемкость внедрения передней режущей кромки ae :

$$A_2 = \sum_{i=1}^n A_{эрк_i}. \quad (3)$$

Энергоемкость внедрения поверхности сегмента вырезного диска:

$$A_1 = \sum_{i=1}^n A_k, \quad (4)$$

где A_k – энергоемкость внедрения кривой поверхности сегмента, Дж.

Поверхность сегмента представлена кривыми aa, bb, cc, dd .

Энергоемкость внедрения кривой поверхности сегмента [11]:

$$A = \sigma \int_0^{x_0} dx \int_{h(x)}^H \varphi(x, h) dh, \quad (5)$$

где σ – нормальное напряжение, соответствующее коэффициенту деформации почвы, Па;

x_0 – горизонтальная координата точки задней режущей кромки на момент внедрения, м;

$h(x)$ – величина заглубления, при которой элементарная площадка кривой вступит в контакт с почвой, м;

H – максимальная величина заглубления кривой поверхности, м.

Численное решение выражения (5) получено с учетом работы элементарных площадок кривой поверхности сегмента на единичном шаге заглубления:

$$dA = dN_y * dly * + dN_x * dx * + dT_y * dly * + dT_x * dx *, \quad (6)$$

где $dN_y *$, $dN_x *$ – проекции нормального усилия элементарной площадки кривой поверхности сегмента на оси x и y , Н;

$dT_y *$, $dT_x *$ – проекции касательного усилия элементарной площадки кривой поверхности сегмента на оси x и y , Н;

$dly *$, $dx *$ – проекции участка траектории движения площадки кривой поверхности сегмента на оси x и y , м.

Проекции нормального усилия элементарной площадки кривой поверхности сегмента на оси x и y равны:

$$dN_x * = b \sigma [\sin(kh) + f'(x) \cos(kh)] dx; \quad (7)$$

$$dN_y * = b \sigma [\cos(kh) + f'(x) \sin(kh)] dx, \quad (8)$$

где b – ширина кривой поверхности сегмента, м;

k – коэффициент соответствия угла поворота величине заглубления, рад/м;

h – величина заглубления элементарной площадки кривой поверхности, м;

dx – величина горизонтального единичного интервала, м.

Определим проекции касательного усилия элементарной площадки кривой поверхности сегмента на оси x и y :

$$dT_y * = f_{внеш} b \sigma [\sin(kh) + f'(x) \cos(kh)] dx; \quad (9)$$

$$dT_x * = f_{внеш} b \sigma [\cos(kh) + f'(x) \sin(kh)] dx, \quad (10)$$

где $f_{внеш}$ – коэффициент внешнего трения суглинистой почвы.

Проекции участка траектории движения площадки кривой поверхности сегмента на оси x и y равны:

$$dx * = [-(x \sin(kh) + f(x) \cos(kh) + a'(h)) dh; \quad (11)$$

$$dy * = [k (x \cos(kh) + f(x) \sin(kh)) - 1] dh, \quad (12)$$

где $f(x)$ – функция кривой поверхности сегмента;
 $a'(h)$ – первая производная функции кривой заглубления;

x – горизонтальная координата исследуемой площадки, м;

dh – величина вертикального единичного интервала, м.

В таблице представлены значения a_1, b_1, x_0 кривых поверхности сегмента продольно-вертикальной проекции вырезного диска с углами трансформации внешней режущей кромки $1^\circ, 2^\circ$ и 3° вокруг линии ea , аппроксимированных в программе *SPSS Statistics 17.0*.

Координаты точек II участка, смещенные в сторону вогнутой поверхности диска, получены с использованием выражений:

$$x_i = \sqrt{x_{0i}^2 + y_{0i}^2} \cos(\alpha_{0i} - \Delta\alpha); \quad (13)$$

$$y_i = \sqrt{x_{0i}^2 + y_{0i}^2} \sin(\alpha_{0i} + y_0), \quad (14)$$

где x_{0i}, y_{0i} – текущие координаты точек кривых крошения сегмента, м;

α_{0i} – угол между касательной к точке кривой крошения сегмента и горизонтом, град.;

$\Delta\alpha$ – угол трансформации внешней режущей кромки, град.

Горизонтальная составляющая тягового сопротивления вырезного диска на единичном шаге заглубления будет определяться из следующего выражения:

$$R_x = \frac{A}{R \Delta\varphi_{внед}}, \quad (15)$$

где R_x – горизонтальная составляющая тягового сопротивления диска, Н;

R – радиус диска, м;

$\Delta\varphi_{внед}$ – интервал угла внедрения элементарной кривой составляющей поверхности сегмента, рад.

Для расчета энергоемкости внедрения сегмента режущей кромки вырезного диска была разработана программа в *Microsoft Excel*.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Расчет проводили при следующих исходных данных: величина горизонтального единичного интервала $dx=0,005$ м; величина вертикального единичного интервала $dh=0,004$ м; абсолютная влажность суглинистой почвы – 20,73%; твердость почвы – 3,3 МПа; ширина кривых крошения $b=0,01$ м; предел прочности

Table		Таблица		
ЗНАЧЕНИЯ АППРОКСИМИРОВАННЫХ КРИВЫХ APPROXIMATED CURVES VALUES				
Кривые Curves	<i>aa</i>	<i>bb</i>	<i>cc</i>	<i>dd</i>
При угле трансформации 1° / Transformation angle 1°				
<i>a_I</i>	-9,337	-8,924	-9,916	-12,392
<i>b_I</i>	1,458	1,436	1,518	1,834
<i>x₀</i>	0,097	0,095	0,102	0,115
При угле трансформации 2° / Transformation angle 2°				
<i>a_I</i>	-9,916	-8,649	-9,713	-12,508
<i>b_I</i>	1,487	1,413	1,485	1,835
<i>x₀</i>	0,097	0,096	0,101	0,114
При угле трансформации 3° / Transformation angle 3°				
<i>a_I</i>	-8,761	-8,421	-9,525	-12,629
<i>b_I</i>	1,375	1,359	1,452	1,835
<i>x₀</i>	0,098	0,097	0,102	0,115

почвы на сжатие $\sigma_{сж} = 154-175$ Па; нормальные напряжения, соответствующие коэффициенту деформации почвы, рассчитанные по формуле М.Д. Подскребко [12], составили $\sigma = 45-178$ Па.

На рисунке 2 представлено изменение среднего значения горизонтальной составляющей тягового сопротивления при внедрении сегмента стандартного вырезного диска и сегментов с трансформированной режущей кромкой.

При трансформации на углы 1°, 2° и 3° внешней режущей кромки среднее расчетное значение горизонтальной составляющей тягового сопротивления меньше анализируемой величины на 15,52; 15,79 и 13,55% соответственно. Минимальной величиной среднего тягового сопротивления при внедрении

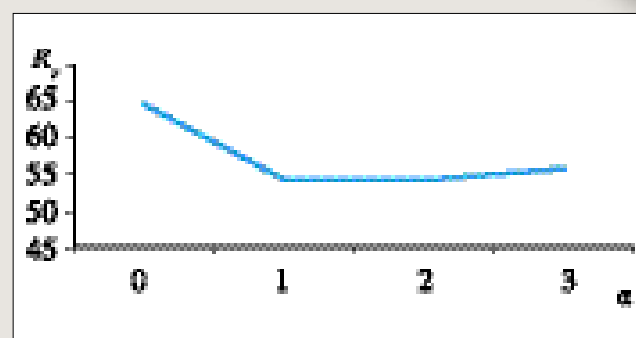


Рис. 2. Зависимость среднего значения горизонтальной составляющей тягового сопротивления (R_z , Н) от угла трансформации внешней режущей кромки (α , град.)

Fig. 2. Dependence of average value of a horizontal component of traction resistance (R_z , N) on transformation angle of peripheral cutting edge (α , degrees)

в суглинистую почву обладает сегмент с углом трансформации внешней режущей кромки 2°.

Выводы

Предложенная методика позволяет определить зависимость горизонтальной составляющей тягового сопротивления сегмента вырезного диска при единичном шаге заглубления сегмента определенной геометрии.

Почва как объект обработки представлена коэффициентом деформации, углом внешнего трения, пределом прочности на сжатие.

При трансформации на углы 1°, 2° и 3° внешней режущей кромки среднее значение горизонтальной составляющей тягового сопротивления меньше анализируемой величины на 15,52; 15,79 и 13,55% соответственно. Минимальной величиной среднего тягового сопротивления обладает сегмент с углом трансформации внешней режущей кромки 2°.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лобачевский Я.П., Эльшейх А.Х. Обоснование расстановки дисковых рабочих органов в комбинированных почвообрабатывающих агрегатах // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2009. N4. С. 22-25.
2. Лобачевский Я.П. Новые почвообрабатывающие технологии и технические средства // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2000. N8. С. 30-32.
3. Лобачевский Я.П. Современные почвообрабатывающие технологии. М.: МГАУ им. В.П. Горячкина, 1999. 39 с.
4. Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И., Чемисов Н.Н. Энергетическая и технологическая оценка почвообрабатывающего рабочего органа // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. N5. С. 10-13.
5. Лобачевский Я.П., Эльшейх А.Х. Обоснование геометрических параметров сферического диска с повернутой и наклоненной осью вращения в комбинированных агрегатах для обработки орошаемых почв Республики Судан // Сельскохозяйственные машины и техно-

- логии. 2009. N3. С. 20-25.
6. Spokas K., Forcella F., Archer D., Reicosky D. SeedChaser: Vertical soil tillage distribution model. Computers and Electronics in Agriculture. 2007; 57: 62-73.
7. Shmulevich I., Asaf Z., Rubinstein D. Interaction between soil and a wide cutting blade using the discrete element method. Soil & Tillage Research. 2007; 97: 37-50.
8. Пат. N2085061 РФ. Диск для пахоты и дисковый плуг. Жаверляк Ж.А., Бюлл. 1997.
9. Пат. N164907 РФ. Диск вырезной. Старовойтов С.И., Бюлл. 2016.
10. Ibrahmi A., Bentaher H., Hbaieb M., Maalej A., Mouazen A.M. Study the effect of tool geometry and operational conditions on mouldboard plough forces and energy requirement: Part 1. Finite element simulation. Computers and Electronics in Agriculture. 2015; 117: 258-267.
11. Комогорцев В.Ф., Старовойтов С.И. Обоснование передней поверхности рабочего органа чизельного куль-

тиватора: Материалы научно-технической конференции студентов, преподавателей и аспирантов Брянской ГСХА. Брянск: Брянская ГСХА, 1996. С. 35.

12. Подскребко М.Д. Закономерность удельного сопротивления почвы при вспашке // Техника в сельском хозяйстве. 2010. N2. С. 47.

REFERENCES

1. Lobachevskiy Ya.P., El'sheykh A.Kh. Justification of placement of disk working tools in combined soil-cultivating units. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2009; 4: 22-25. (In Russian)
2. Lobachevskiy Ya.P. New soil-cultivating technologies and technical means. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2000; 8: 30-32. (In Russian)
3. Lobachevskiy Ya.P. Modern soil-cultivating technologies]. Moscow: MGAU, 1999: 39. (In Russian)
4. Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I., Chemisov N.N. Power and technological evaluation of soil cultivating working tool. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2015; 5: 10-13. (In Russian)
5. Lobachevskiy Ya.P., El'sheykh A.Kh. Justification of geometrical parameters of spherical disk with the turned and inclined rotation axis in the combined units for cultivation of irrigated soils in Republic of the Sudan. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2009; 3: 20-25. (In Russian)
6. Spokas K., Forcella F., Archer D., Reicosky D. SeedChaser: Vertical soil tillage distribution model. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2007; 57: 62-73. (In English)
7. Shmulevich I., Asaf Z., Rubinstein D. Interaction between soil and a wide cutting blade using the discrete element method. *Soil & Tillage Research*. 2007; 97: 37-50. (In English)
8. Patent N2085061 RF. Disk dlya pakhoty i diskovyy plug [Disk for plowed land and disk plow]. Zhaverlyak Zh.A. Byull. 1997. (In Russian)
9. Patent N164907 RF. Disk vyreznoy [Cut disk]. Starovoytov S.I. Byull. 2016. (In Russian)
10. Ibrahmi A., Bentaher H., Hbaieb M., Maalej A., Mouazen A.M. Study the effect of tool geometry and operational conditions on mouldboard plough forces and energy requirement: Part 1. Finite element simulation. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2015; 117: 258-267. (In English)
11. Komogortsev V.F., Starovoytov S.I. Justification of leading surface of working tool of chisel plow: Materialy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, prepodavateley i aspirantov Bryanskoy GSKhA. Bryansk: Bryanskaya GSKhA, 1996: 35. (In Russian)
12. Podskrebko M.D. Regularity of changing specific resistance of soil by plowing. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 2011; 2: 47. (In Russian)

Критерии авторства. Все авторы несут ответственность за представленные в статье сведения и плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution. The authors are responsible for information and plagiarism avoiding.

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



УДК 681.5

DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-3-29-34

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО АДАПТЕРА ДЛЯ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ РАСТЕНИЙ В САДОВОДСТВЕ

Хорт Д.О.,
канд. с.-х. наук;

Филиппов Р.А.,
канд. с.-х. наук;

Кутырёв А.И.*,
аспирант

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Российская Федерация, *e-mal: alexeykutyrrev@gmail.com

В статье проанализированы особенности конструкции технологического адаптера с электронным прибором магнитно-импульсной обработки (МИО) растений. Он необходим для облучения растений низкочастотным магнитным полем в диапазоне от 0 до 100 Гц с одновременным дополнительным синхронным облучением импульсами света с длинами волн оптического диапазона 445 и 650 нм. Представлена классификация существующих сельскохозяйственных технологических адаптеров. Ее анализ показал, что для конструкции технологического адаптера МИО растений лучше подходят электроцилиндры с электронными элементами управления, закрепленные на раме технологического адаптера. В программной среде *Solid Works/Simulation* с помощью модуля физического моделирования визуализирована кинематическая 3D-модель технологического адаптера и создана сетка конечных элементов (*Finite Element Analysis, FEA*). Исследуемая модель расположена в местах крепления трехточечной навесной системы. К направляющей в месте крепления рабочих органов МИО приложена нагрузка по всей поверхности 50 Н. Проведены оценка динамических качеств технологического адаптера МИО, частотный анализ, а также анализ напряженно-деформированного состояния конструкции и узлов. Получены значения резонансных частот. Установлены зоны концентрации напряжений в 50 мм от верхней точки крепления актуатора к направляющей. Их максимальные значения достигают 40 МПа. Выявлены особенности распределения дисперсии напряжений в этих зонах, получены спектры эквивалентных напряжений модели. В результате частотного анализа найдены значения резонансных частот в диапазоне 0,2-9,2 рад/с на различных режимах вибрации технологического адаптера. Выявлена стойкость к воздействию синусоидальной вибрации. Найденные резонансные частоты лежат за пределами диапазона частот, воздействующих на технологический адаптер при его эксплуатации и транспортировании. Погрешность моделирования не превышает 5 процентов. Анализ напряженно-деформированного состояния конструкции технологического адаптера и его узлов показал, что при нагрузке технологического адаптера рабочими органами МИО (магнитными индукторами) 50 Н вертикальное смещение направляющей составляет 1,16 мм. Разрабатываемый технологический адаптер манипуляторного типа, с упрощенной конструкцией и сниженной металлоемкостью, позволяет полностью автоматизировать процесс магнитно-импульсной обработки растений с возможностью автоматической настройки к различным агротехнологическим параметрам насаждений. Частота импульсно-светового излучения и время экспозиции выставляется на блоке управления электронного прибора. Применение специальных технических средств импульсной магнитной обработки садовых культур улучшает укореняемость черенков вишни в 1,8 раза, аронии черноплодной – в 1,4, ежевики и малины – в 1,5-2 раза, жимолости – в 1,4 раза по сравнению с необработанными черенками. Количество корней при этом увеличивается на 21-48 процентов, длина – на 25-61 процент. Применение МИО при дорастивании укорененных черенков в теплице повышает приживаемость ежевики на 10 процентов, жимолости – на 18, рябины – на 30 процентов. Прирост побегов увеличивается на 14-46 процентов.

Ключевые слова: технологический адаптер, автоматизированный агрегат, магнитно-импульсная обработка растений, низкочастотное облучение.

■ **Для цитирования:** Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Кутырёв А.И. Моделирование и анализ конструкции технологического адаптера для магнитно-импульсной обработки растений в садоводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии* 2017. N3. С. 29-34.

MODEL-BASED ANALYSIS OF CONSTRUCTION DESIGN OF TECHNOLOGICAL ADAPTER FOR MAGNETIC-PULSE PROCESSING OF PLANTS IN HORTICULTURE

Khort D.O.,
Ph.D.(Agr.);

Filippov P.A.,
Ph.D.(Agr.);

Kutyrev A.I.*

Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM, 1st Institutskiy proezd, 5, Moscow, 109428, Russian Federation, e-mal: alexeykutyrrev@gmail.com

The article analyzes the features of design of an adapter unit for magnetic-pulse processing (MPP) of plants. It is necessary for radiation of plants by a low frequency 0-100 Hz magnetic field with simultaneous additional synchronous exposure to light with 445-650 nm waves. Classification of the agricultural technological adapters is presented. Analysis of it showed that the electrocylinders with electronic control elements placed on a frame are suitable for construction of a technological adapter of MPP of plants better. In a software environment of Solid Works/Simulation by means of the module of physical simulation the authors visualized the kinematic 3D model of the technological adapter and create a mesh Finite Element Analysis. The studied model placed at fixing three-point hinged system. Load of 50 N was applied to the guideway in the place of fastening of the working elements MPP over the entire surface. The dynamic characteristics of technological adapter MPP, frequency analysis, analysis of stress-strain state of the structure and its components were estimated. The resonance frequencies values were obtained. Zones of concentration of tension 50 mm apart the upper point of fixing of the actuator to a guideway were determined. Their maximum values reach 40 MPas. Features of distribution of tension dispersion of in these zones are revealed, spectrum of the equivalent tension of model are received. The resonance frequencies equal 0.2-9.2 I rad/s at different modes of vibration of the technological adapter. Resistance to impact of sinusoidal vibration is revealed. The found resonance frequencies are outside the range of the frequencies influencing the technological adapter in case of its operation and transportation. The modelling uncertainty is not more than 5 percent. In case of loading of the technological adapter with MPP working elements (magnetic inductors) of 50 N vertical offset of a guideway makes 1.16 mm. The developed technological adapter of manipulatory type, with the simplified construction and the reduced metal consumption, allows to automate completely magnetic-pulse processing of plants with a possibility of automatic adjustment to different agrotechnological parameters of plantings. Frequency of impulse and luminous radiation and time of exposure is showed on control box of the electronic device. Use of special technical means for impulse magnetic processing of garden cultures improves a rooting ability of cherry cuttings by 1.8 times, black chokeberry – by 1.4, blackberry and raspberry – by 1.5-2.0, honeysuckles – by 1.4 times in comparison with the untreated cuttings. The quantity of roots at the same time increases by 21-48 percent, length – for 25-61 percent. Application of MPP when growing of the implanted cuttings in the greenhouse increases survival obyf blackberry by 10 percent, honeysuckles – on 18, mountain ashes – by 30 percent. The amount of cuttings growth increases by 14-46 percent.

Keywords: Technology adapter; Automated assembly; Magnetic-pulse processing of plants; Low-frequency irradiation.

For citation: Khort D.O., Filippov P.A. Kutyrev A.I. Model-based analysis of construction design of technological adapter for magnetic-pulse processing of plants in horticulture. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017; 3: 29-34. DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-3-29-34. (In Russian)

Одно из перспективных направлений агро-инженерных исследований – создание инновационных технических средств в целях снижения затрат труда и повышения эффективности технологических операций. Создание автономных агрегатов, не нуждающихся в постоянном внимании человека, обеспечит комфортные условия для садовых рабочих, выполняющих основные технологические операции вручную [1].

Надежность и безопасность эксплуатации важно учитывать при проектировании сельскохозяйственных агрегатов. На изделие в процессе работы действует вибрация, которая может привести к частичному или полному разрушению его конструкции. Проведение расчетов прочности в программной среде позволяет выявить на стадии проектирования, до изготовления изделия, недоработки в конструкции, быстро и эффективно внести изменения, с наименьшими затратами времени и человеческих ресурсов.

Цель исследований – обосновать параметры конструкции технологического адаптера для магнитно-импульсной обработки (МИО) растений, провести частотный анализ и методом конечных

элементов изучить его напряженно-деформированное состояние при кинематических нагрузках, моделирующих действие реальных нагрузок на адаптер в полевых условиях.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Моделирование и расчет конструкции технологического адаптера, силовой и частотный анализ проведены в программной среде *Solid Works/Simulation*. С помощью модуля физического моделирования визуализирована кинематическая 3D-модель технологического адаптера и создана сетка конечных элементов (*Finite Element Analysis, FEA*) [2].

Сетка конечных элементов представляет собой численный метод решения дифференциальных уравнений, встречающихся в физике и технике. Этот приближенный метод наиболее распространен в механике твердого тела. Механическое поведение каждого элемента выражается с помощью конечного числа степеней свободы или значений функций во множестве узловых точек. Программное обеспечение разрабатывает уравнение, управляющее поведением каждого элемента, учитывая его соединения с другими элементами, упорядочивает уравнения в систему алгебраических уравнений,

находит неизвестные параметры и определяет аппроксимирующую функцию для каждого элемента. Значение непрерывной функции (ϵ) в произвольной точке его элемента аппроксимируется полиномом:

$$\Phi^{(\epsilon)} = A^{(\epsilon)}R + A_0, \quad (1)$$

где $A^{(\epsilon)}$ – вектор-строка коэффициентов полинома;

A_0 – свободный член;

$R = (x, y, z)$ – вектор координат в рассматриваемой точке.

Задача заключается в определении неизвестного вектора $A^{(\epsilon)}$ и свободного члена A_0 . Для этого, используя условие непрерывности функции в узлах, выразим коэффициенты полинома через вектор узловых значений функции $\Phi^{(\epsilon)}$ и координаты узлов. Пределав преобразования, получим:

$$\Phi^{(\epsilon)} = N^{(\epsilon)} \cdot \Phi, \quad (2)$$

где $N^{(\epsilon)}$ – матрица-строка, элементы которой называются функциями формы конечного элемента.

Функции формы вычисляем в каждой точке конечного элемента через координаты самой точки и координаты узлов элемента.

Далее уравнения (2), относящиеся к отдельным элементам, объединяем в систему алгебраических уравнений:

$$\Phi = N\Phi. \quad (3)$$

Определение вектора Φ узловых значений – наиболее сложная процедура в методе конечных элементов. Составляем систему алгебраических уравнений:

$$K\Phi = B, \quad (4)$$

где K – матрица коэффициентов (матрица жесткости);

B – вектор нагрузок.

Решение системы (4) позволяет определить неизвестный вектор узловых значений. Значения вектора Φ подставляют в (3), после чего значение функции ϕ можно вычислить в любой точке заданной области [3, 4].

При помощи метода конечных элементов проводят расчет на прочность под действием силовых нагрузок, определяют устойчивость и формы ее потери, анализируют линейные, угловые и результирующие перемещения, вибрации (частоты собственных и вынужденных колебаний).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. В последние десятилетия сельскохозяйственные адаптеры (агрегаты) циклического действия представлены в основном тракторными погрузчиками, манипуляторами и устройствами типа грузоподъемных кранов.

Для разрабатываемого технологического адаптера наиболее существенным показателем служит тип используемого привода. На основании анализа представленной классификации можно отметить, что для наших целей лучше всего использовать электроцилиндры с электронными элементами

управления, закрепленные на раме технологического адаптера.

На рисунке 1 представлена 3D-модель технологического адаптера манипуляторного типа, упрощенной конструкции и сниженной металлоемкости. Такой адаптер позволяет полностью автоматизировать процесс МИО растений с возможностью автоматической настройки к различным агротехнологическим параметрам насаждений.

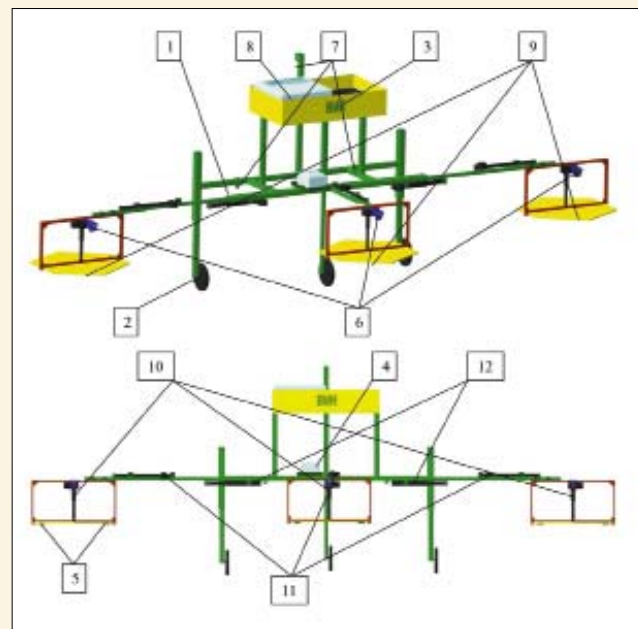


Рис. 1. Конструкция технологического адаптера с модулем магнитно-импульсной обработки растений:

1 – рама; 2 – съемные колеса; 3 – инвертор; 4 – контроллер автоматической системы адаптации под различные культуры; 5 – датчики системы адаптации; 6 – светодиодные прожекторы; 7 – места крепления к трехточечной навесной системе; 8 – электронный прибор магнитно-импульсной обработки растений; 9 – магнитные индукторы; 10 – актуаторы подстройки под высоту растений; 11 – актуаторы изменения угла наклона индукторов; 12 – актуаторы изменения рабочей ширины захвата [5, 6]

Fig. 1. Design of the technological adapter with a module of magnetic pulse processing plants:

1 – frame; 2 – removable wheels; 3 – inverter; 4 – controller of automatic adaptation system for various cultures; 5 – adaptation system sensors; 6 – LED spotlights; 7 – attachment points to the three-point hinged system; 8 – electronic device for magnetic-pulse processing of plants; 9 – magnetic inductors; 10 – adjustment actuators for plant height; 11 – actuators for changing the inductors inclination angle; 12 – actuators for change the operating width

Разрабатываемый технологический адаптер представляет собой автоматизированный агрегат, шарнирно соединенный с элементами навесного устройства, через которые машина передает тяговое усилие, когда она находится в рабочем положении.

нии и выполняет сельскохозяйственную технологическую операцию МИО [5, 6].

Повышение эффективности процесса МИО на технологическом адаптере достигается путем использования автоматической системы адаптации, которая с помощью контроллера, системы актуаторов и датчиков управляет рабочими органами (индукторами) и светодиодными прожекторами, подстраивая их к высоте и габаритам растений. Возможность изменения угла наклона индукторов с помощью актуаторов позволяет облучать высокорослые растения, например в питомниках, садах интенсивного типа, на плантациях ягодных кустарников [7-9].

Технологический адаптер в агрегате с тяговой машиной с помощью системы адаптации, включающей в себя контроллер с ультразвуковыми и лазерными датчиками, автоматически поддерживает требуемый угол наклона и заданное расстояние между растениями, тремя плоскими индукторами и светодиодными прожекторами.

Мобильный агрегат обрабатывает растения импульсами магнитной индукции в низкочастотном диапазоне с одновременным дополнительным синхронным облучением импульсами света определенных длин волн оптического диапазона (445 и 650 Нм). Выбор режима и регулировку параметров работы (частота импульсного и светового излучения, время экспозиции и т.д.) выставляют на блоке управления электронного прибора магнитно-импульсной обработки растений (рис. 2).

Питание электронного прибора осуществляет от инвертора, преобразующего постоянное напряжение бортовой сети 12 В в напряжение 220 В, 50 Гц [3, 10].

При разработке различных механизмов на этапе проектирования необходимо оценивать динамическое качество изделия. Особую важность имеет управление спектром собственных частот будущей механической системы с помощью изменения геометрических параметров системы, свойств материала, а также, конструктивных особенностей исполнения.

Каждая конструкция имеет тенденцию вибрировать на определенных частотах, называемых собственными, или резонансными. Каждая частота собственных колебаний ассоциируется с определенной формой, которую модель стремится принять при вибрировании на этой частоте.

Если конструкция должным образом возбуждена динамической нагрузкой на частоте, которая совпадает с одной из ее собственных частот, то она подвергается большим перемещениям и напряжениям. Частотный анализ помогает избежать резонанса на этапе проектирования. При этом необходимо иметь в виду, что из-за сложности конструк-

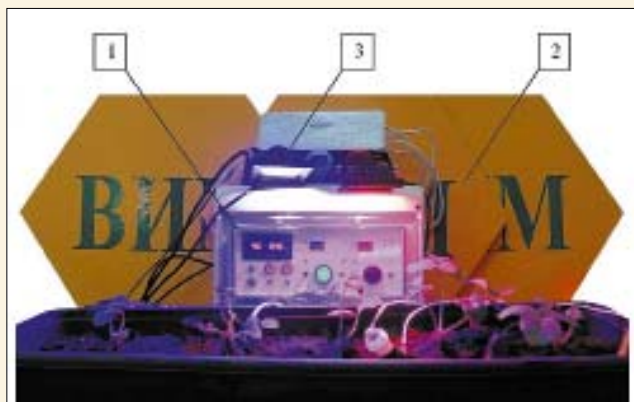


Рис. 2. Электронный прибор магнитно-импульсной обработки растений:

1 – блок управления; 2 – магнитные индукторы; 3 – световые излучатели

Fig. 2. Electronic device for magnetic-pulse processing of plants: 1 – control unit; 2 – magnetic inductors; 3 – light emitters

ции не всегда есть возможность провести частотный анализ. Характеристическое уравнение (5) называют уравнением собственных частот механической системы:

$$\begin{vmatrix} c_{11} - \omega^2 a_{11} & c_{12} - \omega^2 a_{12} & c_{1n} - \omega^2 a_{1n} \\ c_{21} - \omega^2 a_{21} & c_{22} - \omega^2 a_{22} & c_{2n} - \omega^2 a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots \\ c_{n1} - \omega^2 a_{n1} & c_{n2} - \omega^2 a_{n2} & c_{nn} - \omega^2 a_{nn} \end{vmatrix} = 0, \quad (5)$$

где c – квазиупругие коэффициенты (вторая производная от потенциальной энергии по обобщенным координатам);

ω – частота гармонических колебаний;

a – инерционный коэффициент;

n – число степеней свободы.

Число положительных корней этого уравнения равно числу степеней свободы n . Эти корни представляют собой угловые частоты свободных колебаний линейной системы, называемые собственными частотами системы, упорядоченную совокупность которых называют спектром:

$$\omega_1 \leq \omega_2 \leq \dots \leq \omega_n, \quad (6)$$

В развернутом виде характеристическое уравнение (5) можно представить в виде:

$$\begin{vmatrix} 1 - \omega^2 \sum_{k=1}^n f_{1k} a_{k1} & -\omega^2 \sum_{k=1}^n f_{1k} a_{k2} & \dots & -\omega^2 \sum_{k=1}^n f_{1k} a_{kn} \\ -\omega^2 \sum_{k=1}^n f_{2k} a_{k1} & 1 - \omega^2 \sum_{k=1}^n f_{2k} a_{k2} & \dots & -\omega^2 \sum_{k=1}^n f_{2k} a_{kn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -\omega^2 \sum_{k=1}^n f_{nk} a_{k1} & -\omega^2 \sum_{k=1}^n f_{nk} a_{k2} & \dots & 1 - \omega^2 \sum_{k=1}^n f_{nk} a_{kn} \end{vmatrix} = 0, \quad (7)$$

где f_{nk} – величина обобщенного перемещения q_k от квазистатической обобщенной силы $Q_k = 1$.

3D-модель технологического адаптера с разбиением ее на конечные элементы разработана в программной среде *Solid Works/Simulation*.

В результате проведенного анализа получены

формы колебаний конструкции и ее резонансные частоты (рис. 3, таблица).

Проведен анализ напряженно-деформированного состояния конструкции технологического адаптера и его узлов. Исследуемая модель имела следующие граничные условия: она зафиксирована в местах крепления трехточечной навесной системы, к направляющей в месте крепления рабочих органов МИО приложена нагрузка по всей поверхности 50 Н.

В результате анализа установлены зоны концентрации напряжений, определены уровни максимальных напряжений, выявлены особенности распределения дисперсии напряжений в этих зонах, получены спектры эквивалентных напряжений модели.

Из анализа следует, что максимальные значения напряжений находятся в области крепления направляющей магнитных индукторов к штанге регулировки ширины захвата.

Выводы. При проектировании сельскохозяйственных агрегатов важно учитывать их надежность и безопасность эксплуатации. На изделие в процессе работы действует вибрация, которая может привести к частичному или полному разрушению его конструкции. Проведение расчетов прочности в программной среде позволяет выявить на стадии проектирования, до изготовления изделия, недоработки в конструкции, внести изменения быстро и эффективно, с наименьшими затратами времени и человеческих ресурсов.

В результате частотного анализа найдены значения резонансных частот, выявлена стойкость к воздействию синусоидальной вибрации. Выявлено, что резонансные частоты лежат за пределами диапазона частот, воздействующих на технологический адаптер при его эксплуатации и транспортировании. Погрешность моделирования не превышает 5%.

Анализ напряженно-деформированного состояния конструкции технологического адаптера и его узлов показал, что при нагрузке технологического адаптера рабочими органами МИО (магнитными индукторами) в 50 Н вертикальное смещение направляющей составляет 1,16 мм. На основании этого можно сделать вывод, что направляющая удовлетворяет требования жесткости.

Разрабатываемый технологический адаптер ма-

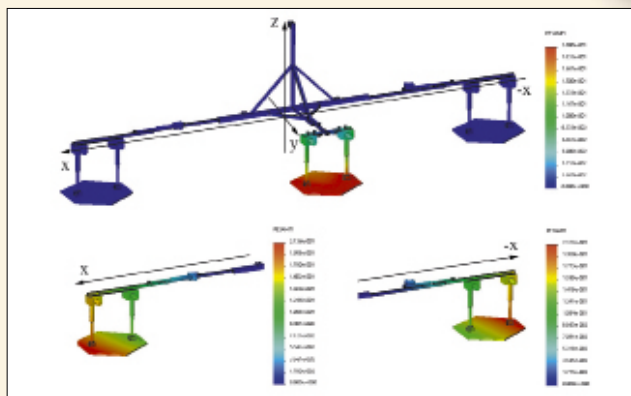


Рис. 3. Частотное исследование технологического адаптера в программе Solid Works / Simulation

Fig. 3. Frequency study technological adapter in the program Solid Works / Simulation

Table		Таблица	
РЕЗОНАНСНЫЕ ЧАСТОТЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ АНАЛИЗА RESONANT FREQUENCIES RECEIVED AS A RESULTS OF THE ANALYSIS			
№	Режим / Mode		
	частотный, Рад/с frequency, Rad/s	частотный, Гц frequency, Hz	период, с period, s
1	9,1934	1,4632	0,68345
2	9,2064	1,4652	0,68248
3	10,033	1,5967	0,62628
4	10,083	1,6048	0,62314
5	22,031	1,6048	0,2852

нипуляторного типа, с упрощенной конструкцией и сниженной металлоемкостью, позволяет полностью автоматизировать процесс магнитно-импульсной обработки растений с возможностью автоматической настройки к различным агротехнологическим параметрам насаждений. Частота импульсно-светового излучения и время экспозиции выставляется на блоке управления электронного прибора.

Применение технологического адаптера с модулем магнитно-импульсной обработки позволяет повысить урожайность в результате ускорения роста и развития растений после их облучения низкочастотными магнитными импульсами с одновременным дополнительным облучением импульсами света, автоматизировать процесс обработки растений, сократить количество химических обработок, число проходов агрегата, а также сэкономить топливо и трудовые затраты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лобачевский Я.П., Смирнов И.Г., Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Кутырёв А.И. Инновационная техника для машинных технологий в садоводстве // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: Материалы VIII Международной научно-практической

конференции «ИнформАгро-2016», Москва, 25-27 мая 2016 г. РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева. М., 2016. С. 199-203.

2. Куликов И.М., Донекких В.И., Упадышев М.Т. Магнитно-импульсная обработка растений как перспектив-

ный прием в технологических процессах садоводства // Садоводство и виноградарство. 2015. N4. С. 45-52.

3. Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Кутырёв А.И. Многофункциональное робототехническое средство с системой технического зрения // Инновации в сельском хозяйстве. 2015. N4(14). С. 115-121.

4. Смирнов И.Г., Артюшин А.А., Хорт Д.О., Филиппов Р.А., Кутырёв А.И., Цымбал А.А. Робототехнические средства в растениеводстве // Научный журнал КубГАУ. 2016. N118(04). С. 1651-1660. URL:<http://ej.kubagro.ru/2016/04/pdf/109.pdf> (Дата обращения 04.06.2017).

5. Кутырёв А.И. Технологический адаптер для робототехнического средства в садоводстве // Плодоводство и ягодоводство России. 2016. Т. XXXXVI. С. 180-185.

6. Кутырёв А.И. Особенности разработки робототехнического средства для садоводства // Плодоводство и ягодоводство России. 2016. Т. XXXXVI. С. 175-179.

7. Патент 167530 РФ. Робот для магнитно-импульсной обработки растений / Измайлов А.Ю., Кутырёв А.И., Смирнов И.Г., Филиппов Р.А., Хорт Д.О. Бюл. 2017. N1.

8. Brown F.A., Barnwell F.H., Webb H.M. Adaptation of the magneto receptive mechanism of mud-snails to geomagnetic strength. *Biological Bulletin*. 1964. Vol. 127; 2: 221.

9. Brown F.A. A hypothesis for extrinsic timing of circadian rhythms / F.A. Brown. *Canadian Journal of Botany*. 1969. Vol. 47; 2: 287.

10. Измайлов А.Ю., Хорт Д.О., Смирнов И.Г., Филиппов Р.А., Кутырёв А.И. Обоснование параметров робототехнического средства с опрыскивателем и модулем магнитно-импульсной обработки растений в садоводстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017. N1. С. 3-1.

REFERENCES

1. Lobachevskiy Ya.P., Smirnov I.G., Khort D.O., Filippov R.A., Kutyrev A.I. Innovative equipment for machine technologies in horticulture. Nauchno-informatsionnoe obespechenie innovatsionnogo razvitiya APK: Materialy VIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «InformAgro-2016», Moscow, 25-27 May 2016. K.A. Timiryazev RGau – MSKhA. Moscow, 2016: 199-203. (In Russian)

2. Kulikov I.M., Donekkikh V.I., Upadyshev M.T. Magnetic-pulse processing of plants as perspective method in technological processes of horticulture. *Sadovodstvo i vinogradarstvo*. 2015; 4: 45-52. (In Russian)

3. Khort D.O., Filippov R.A., Kutyrev A.I. Multipurpose robotic means with computer vision system. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*. 2015; 4(14): 115-121. (In Russian)

4. Smirnov I.G., Artyushin A.A., Khort D.O., Filippov R.A., Kutyrev A.I., Tsybmal A.A. Robotic means in plant growing. *Nauchnyy zhurnal KubGAU*. 2016; 118(04): 1651-1660. URL:<http://ej.kubagro.ru/2016/04/pdf/109.pdf> (Accessed 04.06.2017). (In Russian)

5. Kutyrev A.I. Technology adapter for robotic agent in

horticulture. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii*. 2016; XXXXVI: 180-185. (In Russian)

6. Kutyrev A.I. Features of the development of robotic tools for gardening. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii*. 2016; XXXXVI: 175-179. (In Russian)

7. Patent 167530 RF. Robot dlya magnitno-impul'snoy obrabotki rasteniy [Robot for magnetic-pulse processing of plants]. Izmaylov A.Yu., Kutyrev A.I., Smirnov I.G., Filippov R.A., Khort D.O. Bul. 2017. N1. (In Russian)

8. Brown F.A., Barnwell F.H., Webb H.M. Adaptation of the magneto receptive mechanism of mud-snails to geomagnetic strength. *Biological Bulletin*. 1964. Vol. 127; 2: 221. (In English)

9. Brown F.A. A hypothesis for extrinsic timing of circadian rhythms. *Canadian Journal of Botany*. 1969. Vol. 47; 2: 287. (In English)

10. Izmaylov A.Yu., Khort D.O., Smirnov I.G., Filippov R.A., Kutyrev A.I. Justification of parameters of robotic means with sprayer and module magnetic-pulseprocessing of plants in horticulture. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2017; 1: 3-10. (In Russian)

Критерии авторства. Все авторы несут ответственность за представленные в статье сведения и плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution. The authors are responsible for information and plagiarism avoiding.

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



УДК 631.331.02.01

DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-3-35-38

ИСПЫТАНИЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ВЫСЕВАЮЩЕГО АППАРАТА ДЛЯ ЛЬНА НА БАЗЕ БЛОЧНО-МОДУЛЬНОГО КОМБИНИРОВАННОГО АДАПТЕРА

Фирсов А.С.^{1*},
канд. техн. наук;

Голубев В.В.¹,
канд. техн. наук;

Кудрявцев А.В.¹,
канд. техн. наук;

Сафонов М.А.²

¹Тверская государственная сельскохозяйственная академия, ул. Садовая, 7, корп. 5, пос. Сахарово, г. Тверь, 170904, Российская Федерация, *e-mail: sevenrom777@yandex.ru

²Колледж «Подмосковье», ул. Овражная, 2а, г. Клин, 141600, Российская Федерация

Современным сельскохозяйственным предприятиям необходимы универсальные посевные комплексы, пригодные для посева различных видов семян в разных почвенных условиях. Сеялки должны соответствовать агротехническим требованиям на посев при повышенной влажности, постоянно заданной глубине посева и других факторах. Разработали и изготовили пневматический высевательный аппарат на базе блочно-модульного комбинированного адаптера (БМКА), предназначенный для предпосевной обработки почвы, посева и заделки семян мелкосемянных культур, таких как лен-долгунец. БМКА оснащен пневматическим горизонтальным дисковым высевательным аппаратом, двумя блоками ротационной спиральной бороны, блоком культивации и сошниковой группой. Показали, что созданная конструкция обеспечивает качественную подготовку почвы, равномерный посев семян мелкосемянных культур и заделку их на заданную глубину. Основные параметры ротационной бороны: диаметр – 180 мм; высота зубьев – 120 мм; шаг спирали – 80 мм. Блок культивации позволяет разрушить почву на глубину до 140 мм. Определили оптимальные параметры и режимы работы высевательного аппарата: диаметр диска – 600 мм, диаметр ячеек диска – 8 мм, давление в пневмосистеме – 0,13 МПа, частота вращения диска – 65 об/мин. Установили, что внедрение БМКА в производство повышает урожайность соломы на 13,7-33,1 процента, семян льна-долгунца – на 19,6-31,3 процента в сравнении с контрольным вариантом. Обеспечивается годовой экономический эффект в сумме 2035-3034 руб. на 1 га посева при сроке окупаемости за один сезон. Внедрение сеялки в производство обеспечивает также получение качественных семян для селекции и семеноводства.

Ключевые слова: высевательный аппарат, мелкосемянные культуры, лен, комбинированная сеялка, производственные испытания, посев.

■ Для цитирования: Фирсов А.С., Голубев В.В., Кудрявцев А.В., Сафонов М.А. Испытания пневматического высевательного аппарата для льна на базе блочно-модульного комбинированного адаптера // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. №3. С. 35-38.

TESTS OF PNEUMATIC SOWING DEVICE FOR FLAX ON BASIS OF MODULAR COMBINED ADAPTER

Firsov A.S.^{1*},
Ph.D.(Eng.);

Golubev V.V.¹,
Ph.D.(Eng.);

Kudryavtsev A.V.¹,
Ph.D.(Eng.);

Safonov M.A.²

¹Tver State Agricultural Academy, Sadovaya St., 7, building 5, set. Sakharovo, Tver, 170904, Russian Federation, *e-mail: slavasddg@mail.ru

²Vocational education institution «Podmoskov'e», Ovrazhnaya St., 2a, Klin, 141600, Russian Federation

Modern agricultural enterprises need universal seeders suitable for sowing various types of seeds in different soil conditions. Seeders should be available for agronomic requirements for planting in various conditions: high humidity, constantly desired depth of planting and other factors. The authors developed and manufactured a pneumatic sowing machine on the basis of modular combined adapter BMKA. The combined unit is designed for secondary tillage, sowing and covering of seeds of small-seeded crops such as flax. BMKA is equipped with pneumatic horizontal disc sowing unit, two units helical rotary harrows, unit of cultivation and coulter group. Created design ensures a quality soil preparation, uniform seeding small-seeded crops and set depth of covering. A rotary harrow has several main parameters: diameter is 180 mm; height of teeth equals 120 mm; helix pitch distance is 80 mm. Soil cultivation is possible at depth down to 140 mm. Optimal parameters and modes of operation of the sowing machine: disc diameter – 600 mm, seed cell diameter is 8 mm, the pressure in the pneumatic system – 0.13 MPa, frequency of rotation of the disc equals 65 rpm. BMKA manufacturing

application increases the yield of straw by 13.7-33.1 percent, seeds of flax by 19.6-31.3 percent in comparison with the control variant. The annual economic effect is 2035-3034 rubles per 1 ha, when the payback period is one season. The machine manufacturing application provides high-quality seeds for breeding and seed production.

Keywords: Sowing machine; Small-seeded crops; Flax; Combined seeder; Field test; Seeding.

For citation: Firsov A.S., Golubev V.V., Kudryavtsev A.V., Safonov M.A. Tests of pneumatic sowing device for flax on basis of modular combined adapter. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017; 3: 35-38. DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-3-35-38. (In Russian)

Важной задачей для сельскохозяйственных предприятий по-прежнему остается получение высоких урожаев возделываемых культур, а также снижение затрат на производство продукции. В связи с этим при посеве семян мелкосеменных культур актуальна разработка высевальных аппаратов, позволяющих повысить равномерность распределения семян в рядке, а также совместить операции по предпосевной обработке почвы с посевом [1].

Для посева семян мелкосеменных культур, таких как лен, применяют сеялки с механическим и пневматическим приводом различных типов. Основной недостаток подобных конструкций – неравномерность дозирования семян высевальным аппаратом и распределения семян в рядке, что снижает урожайность [2].

Для устранения указанных недочетов в Тверской ГСХА изготовили конструкцию высевального аппарата на базе блочно-модульного комбинированного адаптера БМКА (рис. 1) [3-6].

Цель исследований – производственные испытания технологии, совмещающей предпосевную обработку почвы, посев и заделку мелких семян для выявления эффективности использования новой конструкции высевального аппарата на базе БМКА [7].



Рис. 1. Высевальный аппарат на базе блочно-модульного комбинированного адаптера:

1 – горизонтальный пневматический высевальный аппарат; 2 – семяпроводы; 3 – сошниковая группа; 4 – рама; 5 – блок культивации; 6 – блок боронования

Fig. 1. Sowing machine on the base of modular combo adapter: 1 – horizontal pneumatic sowing machine; 2 – seed tubes; 3 – coulters; 4 – frame; 5 – cultivating unit; 6 – harrowing unit

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Работа БМКА заключается в следующем. Перед выездом в поле формируют комплект требуемых блоков в зависимости от выполняемой технологической операции. При взаимодействии с почвой первый блок ротационной бороны получает вращение, разрушая поверхностный слой почвы на глубину до 80 мм. Установка спирали с соответствующим шагом позволяет устранить почвенные комки крупнее 50 мм. Крутящий момент от первой секции бороны передается через цепную передачу на вторую. Блок культивации, работающий на глубине 120-140 мм, разрушает почвенные связи между нижележащими слоями, создавая оптимальный водно-воздушный режим в почве. Использование второго блока бороны позволяет подготовить уплотненное семенное ложе на глубине 20-30 мм с мелкокомковатым строением поверхностного горизонта.

Принцип работы высевального аппарата следующий. При вращении высевального диска происходит транспортировка семян к зоне разгрузки. В момент совпадения оси ячейки высевального диска с осью высевного окна семена под действием силы тяжести перемещаются в семяпровод, затем подхватываются потоком сжатого воздуха и выбрасываются через семяпровод в почву равномерно расположенными рядками с одинаковым расстоянием между семенами в рядке.

Оптимальные параметры и режимы работы: диаметр диска высевального аппарата – 600 мм, диаметр ячеек диска – 8 мм, частота вращения диска – 65 мин⁻¹. В результате исследований инновационного высевального аппарата в лабораторных и полевых условиях шаг посева семян составил 1,4 см, отклонение от средней линии – 0,6 см, полевая всхожесть – 92,7% при скорости движения трактора 9 км/ч и фиксированном значении оптимального давления в пневмосистеме [8].

Проведение производственных испытаний включает в себя внедрение разработанной и изготовленной конструкции высевального аппарата сеялки в сельскохозяйственных предприятиях Тверской области. В соответствии с программой производственных испытаний, на начальном этапе установлены хозяйства, возделывающие культуры льна.

Общая учетная площадь проведения производственных испытаний составила 7 га. На выделен-



Рис. 2. Проведение производственных испытаний
Fig. 2. Field test

ном участке опробована технология совмещения предпосевной обработки почвы и посева льна блочно-модульным комбинированным адаптером (рис. 2).

Посев льна проводили на установленных ранее режимах работы высевашевого аппарата: скорость движения трактора – 9 км/ч (2,5 м/с), давление в пневмосистеме – 0,13 МПа.

Откликом проведения производственных испытаний должна стать урожайность сельскохозяйственной культуры, в данном случае – льна. Полученное значение урожайности позволит сравнить эффективность используемой на предприятии машинной технологии посева с внедряемой [9].

Результаты и обсуждение. Сравнительный анализ полученных данных позволяет судить об экономической эффективности работы предлагаемой машинной технологии и конструкции высевашевого аппарата для ее осуществления в производственных условиях и о годовом экономическом эффекте при массовом внедрении устройства. Производственные испытания проводили в соответствии с государственным стандартом.

Составлены акты работ, выполненных на базе колхоза «Искра» Старицкого района и СПК «Селихово» Торжокского района Тверской области.

В колхозе «Искра» базовой технологией был посев льна сеялкой СЗЛ-3,6. При проведении сравнительных испытаний норма внесения семян льна составила 120 кг/га. Выход продукции: солома – 24 ц/га, семена льна – 2,8 ц/га. Урожайность льна при использовании модернизированного агрегата составила: солома – 27,3 ц/га, семена льна – 3,35 ц/га. Таким образом, при использовании предлагаемой

Table Таблица ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ БМКА BMKA USE EFFICIENCY				
Показатели Parameters	Колхоз «Искра» «Iskra»		СПК «Селихово» «Selikhovo»	
	базовая технология base technology	предлагаемая технология suggested technology	базовая технология base technology	предлагаемая технология suggested technology
Урожайность семян, т/га Seeds yield, t/ha	0,280	0,335	0,262	0,344
Годовой экономический эффект на 1 га посева, руб. Annual economic effect from 1 ha, RUB	-	2035	-	3034
Капитальные вложения, руб. Capital investment, RUB	-	190000	-	190000
Срок окупаемости при возделывании 100 га посева, лет Payback period at 100 ha cultivation, years	-	0,9	-	0,6

технологии урожайность повысилась на 13,7 и 19,6% соответственно.

В СПК «Селихово» при базовой технологии посев проводили серийной сеялкой СЗТ-3,6. Норма внесения семян льна составила 100 кг/га. Выход продукции: солома – 22 ц/га, семена льна – 2,62 ц/га. Применение модернизированного агрегата повысило урожайность, соответственно, до 29,3 и 3,44 ц/га, то есть на 33,1 и 31,3%. Ключевые показатели экономической эффективности представлены в таблице.

Выводы

Таким образом, предложенная нами технология посева с применением БМКА достаточно эффективна, поскольку повышение урожайности льна позволяет добиться большого экономического эффекта, а срок окупаемости капитальных вложений составит один посевной сезон.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Сизов О.А. Перспективные пути применения энерго- и экологических эффективных машинных технологий и технических средств // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2013. N4. С. 8-11.
2. Шайхов М.К., Сизов О.А., Шайхов М.М., Шай-

дуллин Х.Х., Шайдуллин Р.Х., Еров Ю.В. Универсальная селекционно-фермерская сеялка // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. N3. С. 39-43.

3. Пат. N126888 РФ. Пневматический высевашевающий аппарат / Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Ахалая Б.Х., Сизов О.А., Марченко О.С., Пехальский И.А., Га-

хокидзе Д.Н., Сулейманов М.И., Ахалая А.Х., Захарова Т.В. Бюлл. N11. 2013.

4. Пат. N138920 РФ. Агрегат для высева семенного материала в ленте / Измайлов А.Ю., Елизаров В.П., Лобачевский Я.П., Шайхов М.К., Пышкин В.К., Царькова Т.В., Шайхов М.М. Бюлл. N9. 2014.

5. Пат. N2050764 РФ. Высевающий аппарат / Лобачевский Я.П., Липин В.Д. Бюлл. 1995.

6. Фирсов А.С., Голубев В.В. Анализ конструкций высевающих аппаратов для возделывания сельскохозяйственных культур // Известия оренбургского ГАУ. 2013. N4(42). С. 85-88.

7. Рула Д.М., Голубев В.В., Коробкин В.С. Блочно-модульный комбинированный адаптер БМКА-3,0. // Ма-

шинно-технологическая модернизация льняного агропромышленного комплекса на инновационной основе: Сборник научных трудов ВНИИМЛ. Тверь, 2014. С. 50-53.

8. Фирсов А.С., Голубев В.В. Результаты исследования параметров и режимов работы дискового пневматического высевающего аппарата для льна // Агротехника и энергообеспечение. 2016. N3(12). С. 41-45.

9. Ларюшин Н.П., Кувайцев В.Н., Загудаев С.Д., Шуклов А.В., Шумаев В.В., Поликанов А.В. Полевые исследования технологического процесса работы ячеисто-дискового высевающего аппарата с цилиндрами на упругодеформируемом кольце // Современные проблемы науки и образования. 2013. N4. С. 366.

REFERENCES

1. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Sizov O.A. Long-term ways of use of energy and environmentally efficient machine technologies and techniques. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2013; 4: 8-11. (In Russian)

2. Shaykhov M.K., Sizov O.A., Shaykhov M.M., Shaydullin Kh.Kh., Shaydullin R.Kh., Erova Yu.V. Universal selection and farmer seeder. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2014; 3: 39-43. (In Russian)

3. Pat. N126888 RF. Pnevmaticheskiy vysevayushchiy apparat [Pneumatic seed-feeding mechanism]. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Akhalaya B.Kh., Sizov O.A., Marchenko O.S., Pekhal'skiy I.A., Gakhokidze D.N., Suleymanov M.I., Akhalaya A.Kh., Zakharova T.V. Byull. N11. 2013. (In Russian)

4. Pat. N138920 RF. Agregat dlya vyseva semennogo materiala v lente [Machine for seed-tape sowing]. Izmaylov A.Yu., Elizarov V.P., Lobachevskiy Ya.P., Shaykhov M.K., Pyshkin V.K., Tsar'kova T.V., Shaykhov M.M. Byull. N9. 2014. (In Russian)

5. Pat. N2050764 RF. Vysevayushchiy apparat [Seed-

feeding mechanism]. Lobachevskiy Ya.P., Lipin V.D. Byull. 1995. (In Russian)

6. Firsov A.S., Golubev V.V. Design analysis of sowing machines used in farm crops cultivation. *Izvestiya orenburgskogo GAU*. 2013; 4(42): 85-88. (In Russian)

7. Rula D.M., Golubev V.V., Korobkin V.S. Modular combo adapter BMKA-3.0. *Mashinno-tekhnologicheskaya modernizatsiya l'nyanogo agropromyshlennogo kompleksa na innovatsionnoy osnove: Sbornik nauchnykh trudov VNIIML. Tver'*, 2014: 50-53. (In Russian)

8. Firsov A.S., Golubev V.V. The results of the study of parameters and modes of operation of disk pneumatic sowing machine for flax. *Agrotekhnika i energoobespechenie*. 2016; N3(12): 41-45. (In Russian)

9. Laryushin N.P., Kuvaytsev V.N., Zagudaev S.D., Shukov A.V., Shumaev V.V., Polikanov A.V. Field research the process of cellular-disk sowing unit with cylinders on elastodeformed ring. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*. 2013; 4: 366. (In Russian)

Критерии авторства. Все авторы несут ответственность за представленные в статье сведения и плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution. The authors are responsible for information and plagiarism avoiding.

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



УДК 658.711.2

DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-3-39-44

ОЦЕНКА МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Бейлис В.М., канд. с.-х. наук

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Российская Федерация, e-mail: derkon@mail.ru

Изложили общие принципы влияния материально-технических ресурсов (МТР) на выполнение основных технологических операций в растениеводстве и их эффективность. Оценили различные технологии с точки зрения затрат МТР. Выявили общие тенденции в развитии технологий производства сельскохозяйственных культур. Определили распределение затрат МТР при выполнении различных сельскохозяйственных работ. Показатели затрат должны служить ориентиром при поиске принципиально новых технологических процессов и рабочих органов сельскохозяйственной техники. Найдены значения затрат труда, топлива, металла, а также денежных средств, где они наиболее велики. Сформулировали концепции, позволяющие обеспечить сокращение затрат на производство продукции. Предложили для перспективных расчетов основываться на агротехнологиях, при которых можно получать максимальную урожайность с минимальными затратами. Рекомендовали для таких технологий ввести термин – «прогрессивные». Отметим, что при определении прогрессивной агротехнологии необходимо обоснованно подходить к показателям урожайности сельхозкультур в различных агрозонах и регионах страны. Для оценки эффективности МТР при производстве различных сельхозкультур и обеспечения снижения ресурсоемкости сельхозпродукции путем поиска и применения принципиально новых технологий для энергосбережения при выполнении сельхозработ, разработали интегральный процентный показатель сравнения прогрессивных технологий с применяемыми технологиями. Оценили МТР при применении новых прогрессивных технологий производства сельскохозяйственных культур с помощью интегрального процентного показателя. Предложили для определения эффективности МТР использовать этот показатель. Применение предложенной методики будет способствовать эффективной оценке МТР, снижению ресурсоемкости путем поиска и разработок принципиально новых технологий выполнения растениеводческих работ.

Ключевые слова: технологии в растениеводстве, сельскохозяйственные машины, интегральный показатель, потери урожая, эффективность, материально-технические ресурсы.

■ **Для цитирования:** Бейлис В.М. Оценка материально-технических ресурсов технологий производства сельскохозяйственных культур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. №3. С. 39-44.

ASSESSMENT OF MATERIAL AND TECHNICAL RESOURCES OF CROP PRODUCTION TECHNOLOGIES

Beylis V.M., Ph.D.(Agr.)

Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM, 1st Institutskiy proezd, 5, Moscow, 109428, Russian Federation, e-mail: derkon@mail.ru

The author explains the general principles of influence of the material and technical resources (MTR) on performance and efficiency of the main technological operations in crop production. Various technologies from the point of view of MTR expenses were estimated. The general tendencies in development of crop production technologies were revealed. The distribution of costs of materials and equipment to perform a variety of agricultural activities was determined. Cost indicators should be a guide in the search of innovative technological processes and working elements of agricultural machines. The greatest values of expenses of work, fuel, metal, and also, money were found. The concepts allowing to provide costs production reduction were formulated. To achieve the maximum productivity with the minimum expenses, the perspective calculations should be based on «progressive» agrotechnologies. When determining progressive agrotechnology it is necessary on reasonable grounds to approach indicators of crop productivity in various agrozones and regions of the country. For an assessment of efficiency of MTR by crop production and ensuring decrease in resource intensity of agricultural products by search and use of essentially new technologies for energy saving when performing

agricultural operations, an integrated percentage indicator of comparison of progressive technologies with the applied ones was developed. MTR at application of new progressive crop production technologies by integrated percentage index were estimated. This indicator can be used for definition of efficiency of MTR. Application of the offered technique will promote an effective assessment of MTR, decrease in resource intensity by search and developments of essentially new technologies of performance of operations in crop production.

Keywords: Crop production technologies; Agricultural machines; Integrated index; Harvest losses; Efficiency; Material resources.

For citation: Beylis V.M. Assessment of material and technical resources of crop production technologies. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2017; 3: 39-44. DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-3-39-44. (In Russian)

Перед Россией стоят задачи динамичного повышения эффективности сельского хозяйства и создания условий на перспективу для доведения его технологического и технического оснащения до мирового уровня. Для этого необходимо развить и видоизменить существующие технологии, чтобы затраты материально-технических ресурсов (МТР) на производство продукции были оптимальны и обеспечивали целенаправленное развитие научно-технического прогресса [1, 2].

На современном этапе, с учетом реальных возможностей отечественной экономики, для эффективного развития сельского хозяйства необходимо внедрять прогрессивные технологии. Это направление научно-технического прогресса обеспечивает высокоэффективное получение товарной продукции при минимальных материально-технических затратах [3, 4].

Об этом наглядно свидетельствует многолетний зарубежный опыт, заключающийся в разработке и доскональной реализации комплексно-механизированных технологий получения сельскохозяйственной продукции. В развитых странах в результате высокой урожайности и эффективности использования МТР достигается низкий расход ресурсов на единицу продукции – в 2-3 раза меньше по сравнению с аналогичными затратами в нашей стране. Это и есть главный фактор ресурсосбережения. Поэтому оценка МТР в производстве сельскохозяйственных культур остается очень важным этапом при разработке новых прогрессивных машинных технологий и оснащения ими агропредприятий России [5].

Цель исследования – оценка эффективности МТР при разработке новых прогрессивных машинных технологий.

Материалы и методы. Материалом исследования послужили данные Систем технологий и машин, публикации по вопросам технологического обеспечения сельскохозяйственного производства, а также статистическая исходная информация.

Результаты и обсуждение. Проведенный анализ тенденции и приоритетных направлений развития по основным видам технических средств отражает некие общие закономерности развития системы машин и технологий, знание которых представля-

ет значительный интерес, так как позволяет определить развитие отрасли в целом. Важно знать общие тенденции в развитии технологий, которые состоят в следующем:

- сельским товаропроизводителям предлагают, наряду с интенсивными, технологии любых уровней интенсификации, вплоть до простейших, что позволяет выбирать оптимальные варианты, отвечающие экономическому и техническому потенциалу хозяйств;

- технологии становятся все более индустриализированными, требуют высокого уровня механизации, а на перспективу – автоматизации работ;

- все большее значение получает направленность технологий на получение высококачественной продукции при безусловном соблюдении экологических требований;

- более высокие требования предъявляются к подготовке посевного и посадочного материала.

В экономическом плане важнейшее значение имеет величина и распределение затрат материально-технических ресурсов при выполнении различных сельскохозяйственных работ, которые зачастую играют решающую роль при выборе технологии производства продукции. Помимо того, эти показатели могут и должны служить одним из главных ориентиров как при проектировании новых технологий, так и при разработке принципиально новых технологических процессов и техники [6].

Исходя из этого было изучено и проанализировано распределение затрат материально-технических ресурсов при выполнении всех основных видов сельскохозяйственных работ, в том числе с целью выявления тех из них, где затраты труда, топлива, металла и финансов наиболее велики (табл. 1).

Определены конкретные показатели всех затрат и их соотношение, что позволило получить развернутую картину распределения затрат и сделать соответствующие выводы. Так, выделяются по своей величине затраты на топливо при обработке почвы (25% всех затрат при производстве озимых зерновых культур). Необходимо найти принципиально новые технологические процессы воздействия на нее, чтобы создать оптимальные условия для произрастания растений, затрачивая при этом мень-

Table 1

Таблица 1

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАТРАТ НА ВОЗДЕЛЫВАНИЕ И УБОРКУ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР
CLASSIFICATION OF EXPENDITURES FOR GRAIN CROPS CULTIVATION AND HARVESTING

Технологические операции Technological operations	Возможный недобор (потери) продукции, % Possible lost of products, %	Доля затрат, % от общих Costs component, %			
		труда labour	топлива fuel	металла metal	денежных средств finances
Основная обработка почвы Basic tillage	6,3	9,2	25,3	13,1	9,1
Поверхностная обработка почвы Surface tillage	7,3	7,5	8,2	7,7	4,1
Подготовка и внесение минеральных удобрений Preparation and application of mineral fertilizers	20,0	1,9	1,8	1,1	1,1
Внесение органических удобрений Organic manuring	23,0	8,0	13,1	7,6	12,9
Посев с одновременным внесением минеральных удобрений Seeding and mineral fertilizing at the same pass	18,9	3,9	3,0	2,1	2,0
Защита растений Crop protection	17,1	2,7	1,7	0,8	1,2
Уборка урожая Harvesting	42,9	22,4	21,0	18,1	57,9
Послеуборочная обработка зерна Post-harvest grain processing	12,0	5,0	электроэнергия electric energy	21,5	6,2
Транспортные и погрузочные работы Transportation and loading operations	10,0	39,4	25,9	28,0	5,5
Всего Total	-	100,0	100,0	100,0	100,0

ше энергии. При создании орудий для основной обработки следует обращать внимание на снижение расхода топлива.

Велики затраты при уборке урожая – около 60% всех издержек. Возможные потери зерна при уборке – 42,9%, если учитывать затраты труда (22,4%), топлива (21,0%) и металла (18,1%), то разработку уборочной техники нового поколения, благодаря которым вышеназванные показатели будут значительно снижены, следует признать первоочередной задачей. В этом направлении ведутся интенсивные научно-исследовательские и конструкторские работы.

Велика доля затрат всех ресурсов на выполнение транспортно-технологических работ, что свидетельствует о необходимости принципиально новых путей их выполнения.

Таким образом, поиск новых технологий и создание машин для основной обработки почвы, уборки, транспортно-погрузочных работ могут дать значительный экономический эффект и привести к революционным изменениям в сельском хозяйстве. Данные распределения затрат по основным операциям при возделывании и уборке основных сель-

скохозяйственных культур могут служить ориентиром при обосновании приоритетной техники. Применительно к техническим принципам создания техники в новой Системе машин должны найти отражение в первую очередь следующие концепции, позволяющие обеспечить сокращение затрат на производство сельскохозяйственной продукции [7-10]:

- разработка семейств технических средств на основе универсальных энергетических и других базовых моделей, обеспечивающих функционирование гибких производственных систем;
- агрегатная унификация по всем основным видам технических средств на основе утверждения и реализации типоразмерных рядов для основных узлов и агрегатов;
- создание трансформируемой техники на основе универсальных рам со сменными рабочими органами и дополнительным оборудованием;
- максимальная унификация технических средств одного типа и назначения в результате модификации базового образца;
- техническое обеспечение многофазовых технологий работ, сочетающих выполнение операций

с применением мобильных и стационарных машин;

- реализация принципиально новых технологий процессов воздействия на объект обработки с использованием ранее не применявшихся физических и кибернетических принципов, химических и биологических воздействий, материалов и пр.;

- создание технических систем с упорядоченным перемещением мобильных рабочих органов, в том числе в полуавтоматическом контролируемом режиме;

- разработка конгломераторов технических средств для законченных промышленных технологий производства пищевых продуктов и сырья для легкой промышленности в сельхозпредприятиях, межхозяйственных объединениях и комбинатах, а также подобных им мини-систем для крестьянских хозяйств;

- автоматизация и роботизация выполнения законченных циклов работ с использованием машин-автоматов и роботов.

Известно, что разработка любых типажей технических средств основывается на технологиях производства сельскохозяйственных культур.

В научный обиход вошли терминологические формулировки агротехнологий: «нормальная», «интенсивная» и «высокая». Не подвергая критике названия этих технологий, считаем целесообразным для перспективных расчетов основываться только на агротехнологиях, при которых можно получить максимальную урожайность с минимальными затратами. Такие агротехнологии следует называть «прогрессивными». Их необходимо сравнивать с действующими технологиями. Повышение продуктивности сельхозкультур снижает себестоимость продукции. Затем с увеличением урожайности себестоимость начинает расти, применение данной технологии становится невыгодным, так как она не дает прибыли. Поэтому при определении прогрессивной агротехнологии необходимо обоснованно подходить к величине урожайности растений в различных агрозонах и регионах страны.

В среднем по России, по данным «Стратегии машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России на период до 2020 года», величина критической продуктивности в зерновом производстве – 5,5-7,5 т/га. По мере развития и удешевления материально-технического ресурсного обеспечения сельхозпроизводства значение порога критической продуктивности будет изменяться. Наряду с важностью распределительных показателей затрат МТР на всех этапах возделывания сельхозкультур необходимо определить эффективность этих затрат.

До настоящего времени оценку проводили только по каждому ресурсу. Однако такой процесс вызывал определенные трудности, так как он не давал объективного суммарного подхода к той или иной тех-

нологии. В связи с этим в результате проведенных исследований мы предложили интегральный процентный показатель, с помощью которого можно оценить эффективность работы МТР для различных сельскохозяйственных культур. Его определяют следующим образом.

Итоговые значения затрат труда, топлива, металла и энергии прогрессивных технологий сравнивают с итоговыми показателями технологий, которые применяются в настоящее время в практической работе сельхозтоваропроизводителей. Прежде всего находят разницу между каждым значением затрат прогрессивной и сравниваемой технологий. Затем определяют процентную величину этой разницы, отнесенной к показателям технологий, с которой ведется сравнение.

Показатели прогрессивной технологии, которые меньше значений сравниваемой технологии, обозначают знаком «-», а если они превышают их, то ставят знак «+». После того, как все значения процентов установлены, определяют интегральный процентный показатель.

Все данные со знаком «+» и «-» складывают и из большего значения вычитают меньшее. Если оно со знаком «-», то это означает, что прогрессивная технология по материально-техническим ресурсам эффективна. Если же значения затрат со знаком «+», то материально-технические ресурсы следует сокращать, переработав все технологические операции и технические средства, включенные в прогрессивную технологию.

Определение интегрального процентного показателя (И) можно выразить следующей формулой:

$$И = \sum Мпр \pm \sum Мт,$$

где $\sum Мпр$ – процентная сумма МТР прогрессивной технологии;

$\sum Мт$ – процентная сумма МТР традиционной (применяемой) технологии;

«+» или «-» применяют в зависимости от баланса суммы ресурсов.

Анализ МТР прогрессивных технологий производства сельхозкультур показал, что в основном они эффективны [6]. Однако некоторые из них по показателям затрат уступают итоговым данным сравниваемых технологий. К ним относятся технологии производства гречихи (+26,1%); моркови (+18,8%), капусты белокочанной (+158,3%).

Кроме определения эффективности технологий можно по такой же методике провести расчет по обоснованию включения типажей технических средств в Систему технологий и машин.

Критерием для такого определения будет служить также интегральный процентный показатель эффективности агротехнологий и типажей технических средств. Можно рассчитать МТР с учетом урожайности культур, но тогда надо все показате-

Table 2

Таблица 2

НЕДОБОР И ПОТЕРИ УРОЖАЙНОСТИ СЕЛЬХОЗКУЛЬТУР ПРИ НАРУШЕНИИ АГРОСРОКОВ (В СРЕДНЕМ ПО РФ), %
LOST OF YIELD AT AGROTERM DELAY (RF AVERAGE), %

Культуры Crops	Операция Operation	Отставание от агросроков, дни / Agroterm delay, days									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Озимая пшеница Winteer wheat	посев / sowing	0,2-28,2	1,2-30,1	1,6-32,0	2,0-34,0	2,4-36,7	4,4-38,6	5,1-40,5	5,9-42,9	6,6-44,6	7,3-47,6
	прямое комбайнирование straight-combine method	0,6-7,5	1,2-11,3	2,5-15,1	3,8-18,1	5,0-19,6	6,3-20,8	7,6-21,9	6,0-23,4	6,5-24,2	7,0-26,0
Яровая пшеница Spring wheat	посев / sowing	0,9-38,0	1,7-41,5	3,5-44,0	4,0-48,8	→					
Яровая пшеница (Сибирь) Spring wheat (Siberia)	прямое комбайнирование straight-combine method	9,8-12,0	10,7-16,0	11,8-20,0	12,8-25,0	13,3-29,0	13,8-34,3	14,4-39,1	15,0-45,4	→	
Ячмень sowing	посев / sowing	1,0-26,0	2,0-29,0	7,0-32,3	8,0-35,0	10,7-38,1	11,2-41,4	11,3-44,1	11,3-47,1	11,4-50,2	11,5-55,2
Ячмень (Сибирь) Barley (Siberia)	скашивание / mowing	5,6-8,8	5,7-10,1	5,8-10,6	6,7-11,1	11,2-12,3	→				
	подбор / pickup	10,0	11,0	12,0	12,1	12,3	→				
	скашивание / mowing	18,0	19,0	19,5	20,0	→					
	обмолот / threshing	19,0	20,5	22,5	24,5	→					
Горох / Pea	уборка / harvesting	5,5-6,5	8,5-12,4	16,5-18,5	24,0-24,2	30,8-32,4	→				
Лен / Flax	посев / sowing	6,2	7,5	8,5	9,2	→					
	уборка / harvesting	12,5	15,0	20,0	25,0	30,0	→				
Картофель Potato	посадка / planting	0,4-10,0	0,8-14,2	1,1-19,0	1,5-10,5	2,0-21,5	→				
	уборка / harvesting	0,5-17,0	0,8-19,0	1,2-21,0	1,5-23,0	→					
Зерновые культуры Grain crops	вспашка зяби fall-plowing	1,2-24,0	2,3-25,0	4,2-25,2	→						
	закрытие влаги harrowing for moisture conservation	9,3-16,4	9,5-18,1	9,7-19,0	10,1-20,3	→					

ли вычислять на 1 т продукции. Большое количество материально-технических ресурсов тратится впустую, так как при возделывании, уборке и хранении сельхозпроизводители недобирают и несут потери урожая от несвоевременности проведения технологических операций.

По данным *таблицы 2*, например, при посеве озимой пшеницы на первый день после агросрока недобор зерна в Поволжье достигает в среднем 28,2% от потенциальной урожайности, а на десятый день – почти 50%.

По другим культурам также могут быть недобор и потеря продукции. Такое положение вынуждает оценивать эффективность МТР с учетом поправок на несвоевременность выполнения различных технологических операций.

Выводы

Определены величины распределения материально-технических ресурсов по отдельным циклам производства сельхозкультур.

Разработан интегральный процентный показатель, который можно использовать при определении эффективности материально-технических ресурсов и обеспечении снижения ресурсоемкости сельскохозяйственной продукции путем поиска и применения принципиально новых технологий, технологических процессов и иных способов энергосбережения при выполнении сельхозработ.

В общей оценке эффективности МТР необходимо учитывать потери и недобор урожая при несвоевременности проведения полевых технологических операций.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Сизов О.А. Перспективные пути энерго- и экологически эффективных машинных технологий и технических средств //

Сельскохозяйственные машины и технологии. 2013. N4. С. 8-14.

2. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Инновацион-

ные механизированные технологии и автоматизированные технические системы для сельского хозяйства // Механизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем: Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции. Ч.1. М.: ВИМ, 2012. С.31-44.

3. Елизаров В.П., Антышев Н.М., Бейлис В.М., Шевцов В.Г. Исходные требования на технологические операции в растениеводстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2011. N3. С. 11-14.

4. Елизаров В.П., Бейлис В.М. Проблемы создания инновационной системы технологий и машин для растениеводства // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2014. N10. С. 10-12.

5. Исмаил В.И. Применение балансового метода к оценке экономической эффективности системы машин для растениеводства // Агромеханизация в Азии. 1998. Т. 29, N4. С. 56-60.

6. Хаппер Ю.К., Такеда Ф., Петерсон Д.Л. Результаты сравнительной технико-экономической оценки трех систем машин для сбора урожая ягод ежевики бесшипной // Прикладная инженерия в агрономии. 1999. Т. 15,

N6. С. 597-603.

7. Измайлов А.Ю., Елизаров В.П., Бейлис В.М. Система технологий, типов и параметры машин для комплексной механизации растениеводства: разработка и развитие в рыночных условиях. М.: ВИМ, 2010. 263 с.

8. Елизаров В.П., Шевцов В.Г., Бейлис В.М., Коротченя В.М. Развитие системы машин – путь технического прогресса в сельскохозяйственном производстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. N6. С. 14-19.

9. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Система технологий и машин для инновационного развития АПК России // Система технологий и машин для инновационного развития АПК России: Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции посвященной 145-летию со дня рождения основоположника земледельческой механики В.П. Горячкина. Ч. 1. М.: ВИМ, 2013. С. 9-12.

10. Бейлис В.М. Структура и классификация машинных технологических систем в растениеводстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. N5. С. 38-42.

REFERENCES

1. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Sizov O.A. Long-term ways of use of energy and environmentally efficient machine technologies and techniques. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2013; 4: 8-11 (In Russian).

2. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. Innovative mechanized technologies and the automated technical systems for agriculture. *Modernizatsiya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na baze innovatsionnykh mashinnykh tekhnologiy i avtomatizirovannykh sistem: Sbornik dokladov XII Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Vol. 1. Moscow: VIM, 2012: 31-44. (In Russian)

3. Elizarov V.P., Antyshev N.M., Beylis V.M., Shevtsov V.G. Initial requirements of technological operations in plant growing. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2011; 3: 11-14. (In Russian)

4. Elizarov V.P., Beylis V.M. Problems of creation of innovative system of technologies and machines for plant industry. *Traktory i sel'skokhozyaystvennye mashiny*. 2014; 10: 46-50. (In Russian)

5. Ismail V.I. Balance method application to an assessment of economic efficiency of system of machinery for crop production. *Agromekhanizatsiya v Azii*. 1998. Vol. 29; 4: 56-60. (In Russian)

6. Khapper Yu.K., Takeda F., Peterson D.L. Results of a comparative technical and economic assessment of three systems of machinery for brambleberries harvesting. *Prikladnaya inzheneriya v agronomii*. 1999. Vol. 15; 6: 597-603. (In Russian)

7. Izmaylov A.Yu., Elizarov V.P., Beylis V.M. System of technologies, types and parameters of machines for complex mechanization of crop production: working out and development in market conditions. Moscow: VIM, 2010: 263. (In Russian)

8. Elizarov V.P., Shevtsov V.G., Beylis V.M., Korotchenya V.M. Machines system development is the way of technical progress in agricultural production. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2014; 6: 14-19. (In Russian)

9. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. System of technologies and machinery for innovative development of agrarian and industrial complex of Russia. *Sistema tekhnologiy i mashin dlya innovatsionnogo razvitiya APK Rossii: Sbornik nauchnykh dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Vol. 1. Moscow: VIM, 2013: 9-12. (In Russian)

10. Beylis V.M. Classification of the machine technological systems in plant industry. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2015; 5: 38-42. (In Russian)

Критерии авторства. Автор несет ответственность за представленные в статье сведения и плагиат.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Contribution. The author is responsible for information and plagiarism avoiding.

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

УДК 378.004.12

DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-3-45-48

ПРОГРАММЫ ПОДГОТОВКИ МАГИСТРОВ В СИСТЕМЕ НАУЧНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ

Измайлов А.Ю.,

докт. техн. наук, академик РАН;

Лобачевский Я.П.,

докт. техн. наук, член-корр. РАН;

Ценч Ю.С.*,

канд. пед. наук

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Российская Федерация, *e-mail: vimasp@mail.ru

Принятие нового Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации» № 273-ФЗ от 29 декабря 2012 г. существенно изменило традиционную структуру системы подготовки кадров. Слияние и укрупнение научно-исследовательских институтов, образование на их базе мощных федеральных научных центров дало возможность существенно расширить сферу образовательной деятельности, а именно, реализовать программы магистерской подготовки. Магистратура по направлению «Агроинженерия» в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ призвана готовить специалистов для АПК. Для качественной подготовки магистров в Центре создана образовательная кафедра «Общенаучные и специальные дисциплины», имеющая компетентный профессорско-преподавательский состав, который ведет работу по организации и обеспечению учебного процесса, в том числе наполнение содержанием соответствующих рабочих программ по учебным курсам, разработку учебно-методических комплексов, фондов оценочных средств, системы диагностики текущих учебных достижений, научно-методического обеспечения. Отметим, что важным фактором является то, что подготовка магистров в НИИ будет более адаптированной к проблемам отрасли, производства, чем в вузе, будет иметь более практическую направленность. В процессе обучения в магистратуре научного учреждения учащийся может участвовать в реализации конкретных проектов, работать в рамках исследовательских и производственных программ, а после завершения подготовки органично влиться в коллектив исследовательского учреждения. Определили, что магистратура по направлению «Агроинженерия» призвана готовить специалистов для научно-исследовательской, аналитической, конструкторской и проектной деятельности. Установили, что необходимо выстроить систему организации и обеспечения учебного процесса, наполнить содержанием соответствующие рабочие программы по учебным курсам, разработать учебно-методические комплексы.

Ключевые слова: подготовка научных кадров, магистратура, агроинженерия, образовательная программа.

■ **Для цитирования:** Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С. Программы подготовки магистров в системе научных учреждений // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. №3. С. 45-48.

MAGISTR'S PROGRAMS IN SCIENTIFIC INSTITUTIONS SYSTEM

Izmaylov A.Yu.,

D.Sc.(Eng.), member of RAS;

Lobachevskiy Ya.P.,

D.Sc.(Eng.), corr. member of RAS;

Tsench Yu.S.,*

Ph.D.(Ped.)

Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM, 1st Institutskiy proezd, 5, Moscow, 109428, Russian Federation, *e-mail: vimasp@mail.ru

The new Federal law «About Education in the Russian Federation» No. 273-FZ (December 29, 2012) significantly changed traditional structure of training system. Merge and integration of research institutes, formation on their base of powerful federal scientific centers gave the chance to significantly expand the sphere of educational activity, to realize masters programs. The Magistr's programs in «Agroengineering» was designed in Federal Scientific Agricultural Engineering Center VIM to train experts for agrarian and industrial complex. Educational department «General Scientific and Special Disciplines» for high-quality training of magists in the Center is provided by the competent academic staff which arranges and ensures educational process, including filling as contents of the working programs on training courses, development of educational and methodical complexes, funds of estimated means, systems of diagnostics of the current educational achievements, scientific and methodical providing. Training of magists in scientific research institute will be more adapted to problems, production, than in higher education university, will have more practical focus. In the course of training in a magistracy of scientific institution the advanced student can participate in implementation of specific projects, work within research and production programs, and after completion of preparation can organic to join staff of research institution. The Magistr's programs in «Agroengineering» is created to train experts for research, analytical and design activity. It is necessary to organize and ensure educational process, to fill with contents the work programs on training courses, to develop educational and methodical complexes.

Keywords: Magistr's programs, Training of scientists; Magistracy; Agroengineering; Educational programs.

■ **For citation:** Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S. Masters training programmes in system of scientific institutions. *Sel'kokhozyaystvennye mashiny iologii. 2017; 3: 45-48. DOI 10.22314/2073-7599-2018-11-3-45-48. (In Russian)*

В настоящее время высшая школа функционирует как уровневая система реализации образовательных программ трех ступеней: бакалавриат – магистратура – аспирантура. Принятие нового Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации» № 273-ФЗ от 29 декабря 2012 года [1], существенно изменило традиционную структуру системы подготовки кадров, в том числе агроинженерных, выявляя особенность ее отдельных составляющих. Наиболее глубокие изменения коснулись, в частности, научно-исследовательских институтов, которые получили возможность существенно расширить сферу образовательной деятельности.

Цель исследования. Определение целесообразности и методологии организации магистратуры в Федеральных научных учреждениях.

Результаты и обсуждения. Подготовка научных агроинженерных кадров высшей квалификации, наряду с осуществлением исследовательских программ, на протяжении многих лет была одной из основных функций профильных научных учреждений. Подготовка аспирантов осуществлялась, как правило, по индивидуальным программам, с акцентом на тему диссертационного исследования.

В настоящее время подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре рассматривается как стадия процесса послевузовского образования, а именно как третья ступень (после бакалавриата и магистратуры) подготовки кадров по образовательным программам высшего образования. Успешно освоившим программы подготовки в аспирантуре присваивается квалификация «Исследователь. Преподаватель-исследователь».[1].

Тенденцией последнего времени является слияние и укрупнение научно-исследовательских институтов (НИИ), образование на их базе мощных федеральных научных центров. Укрепление кадрового и интеллектуального потенциала центров, наличие в них разноплановых ученых и специалистов, имеющаяся современная исследовательская и производственная инфраструктура создают предпосылки и целесообразность для реализации некоторых ступеней системы непрерывного уровневого образования, в том числе программ подготовки магистров.

В настоящее время подготовку агроинженерных кадров в магистратуре осуществляют 49 вузов Минсельхоза РФ и 15 вузов Минобрнауки РФ. При этом обеспеченность инженерных служб агропромышленного комплекса специалистами с высшим образованием составляет около 40% [2].

Реализация же второй ступени высшего образо-

вания – по образовательным программам магистратуры – является новой задачей научно-исследовательских институтов и, в первую очередь, крупных федеральных научных центров. Такая задача ставится впервые.

На академической неделе в Российской академии наук 20 марта 2017 года руководитель ФАНО России М.М. Котюков подчеркнул актуальность развития профильной магистратуры в научно – исследовательских институтах и научных центрах. Актуальность развития магистратуры в НИИ обосновывается, помимо появившейся законодательной базы, наличием необходимых ресурсов – интеллектуальных, кадровых, инфраструктурных, с широкими междисциплинарными связями научных учреждений.

Важным фактором является то, что подготовка магистров в НИИ будет более адаптированной к проблемам отрасли, производства, чем в ВУЗе, будет иметь более практическую направленность. В процессе обучения в магистратуре научного учреждения учащийся может принимать участие в реализации конкретных проектов, работать в рамках исследовательских и производственных программ, и после завершения подготовки органично влиться в коллектив исследовательского учреждения.

Магистратура по направлению «Агроинженерия» призвана готовить специалистов для научно-исследовательской, аналитической, конструкторской и проектной деятельности, эффективного использования сложных машин и оборудования, разработки и внедрения инновационной техники и технологий, для организации и управления сложными техническими системами в научно-исследовательской и производственной сферах [3].

Требования к выпускнику магистратуры достаточно высоки, поэтому в магистратуру необходимо принимать наиболее способных выпускников бакалавриата, склонных к творческой деятельности. Руководителями магистрантов должны назначаться работающие в научно-исследовательских институтах ведущие ученые, осуществляющие актуальные научные исследования и имеющие связь с производством. Соблюдение таких условий, несомненно, дает положительный результат. Вместе с этим и практическая деятельность имеет существенное значение для качественной подготовки магистров. Это подчеркивал Президент Российской Федерации в Послании Федеральному Собранию [5].

С получением права на осуществление образовательной деятельности по программам магистратуры научные исследовательские центры, прини-



мая решение о намерении осуществить свое право на реализацию программ магистерской подготовки, должны обеспечить выполнение целого ряда несвойственных ему новых функций – по сути, взять на себя учебные функции образовательного учреждения. В этой связи, для успешного осуществления магистерских программ представляется важным наладить сетевое взаимодействие с профильными высшими учебными заведениями.

На практике необходимая подготовительная работа научно-исследовательских учреждений к реализации образовательных программ подготовки магистров включает разработку на компетентностной основе образовательных программ, их лицензирование и аккредитацию. Необходимо разработать систему организации и обеспечения учебного процесса, в том числе наполнение содержанием соответствующих рабочих программ по учебным курсам, разработку учебно-методических комплексов (УМК), фондов оценочных средств (ФОС), системы диагностики текущих учебных достижений, научно-методического обеспечения, предусмотренной Федеральным государственным образовательным стандартом (ФГОС) научно-исследовательской работы и др. [4, 5].

Образовательные программы магистратуры предусматривают примерно 50% теоретического обучения и 50% – практической научно-исследовательской работы. Научно-исследовательские учреждения смогут осуществлять как теоретическую подготовку, так и организовывать практическую исследовательскую и производственную деятельность магистранта, осуществляя комплексный процесс подготовки на собственной учебной, лабораторной, производственной базе.

В настоящее время ФГБНУ ФНАЦ ВИМ осуществляет образовательную деятельность по программам магистратуры, реализуя направления подготовки 35.04.06 «Агроинженерия» и 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» в соответствии с полученной лицензией Рособнадзора РФ.

Для качественной подготовки магистров по данным направлениям в Центре создана образовательная кафедра «Общенаучные и специальные дисциплины», имеющая компетентный профессорско-преподавательский состав. Руководителями магистерских программ являются академики и члены-корреспонденты РАН, ведущие профессора и доктора наук.

Особенностью программы магистратуры ФГБНУ ФНАЦ ВИМ является практико-ориентированная подготовка агроинженерных кадров для научно-ис-

следовательской и внедренческой деятельности.

Целью реализуемой образовательной магистерской программы ФГБНУ ФНАЦ ВИМ является обеспечение комплексной и качественной подготовки квалифицированных магистров, способных на конкурсной основе решать задачи в научно-исследовательской области, сочетая управление современными инновационными технологиями с научно-исследовательской деятельностью.

Выпускник магистратуры должен уметь решать следующие профессиональные задачи:

- анализ российских и зарубежных тенденций развития механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства, систематизация научно-технической информации, выбор методов и средств решения научно-технических задач;
- разработка программ и методов проведения научных исследований, осуществления технических и технологических разработок;
- разработка физических и математических моделей исследуемых процессов;
- проведение исследований и испытаний сельскохозяйственной техники;
- подготовка научно-технических отчетов, обзоров, публикаций по результатам выполненных исследований.

Выпускник магистратуры должен уметь использовать профессиональную компетенцию, а именно, уметь:

- способность и готовность применять знания о современных методах исследований;
- способность и готовность организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу, вести поиск инновационных решений в инженерно-технической сфере АПК [6].

Выводы

Магистратура в научно-исследовательских институтах находится в стадии становления. Скорейшее решение накопившихся проблем в подготовке магистров, тесное сотрудничество научных учреждений с высшими учебными заведениями, производственными организациями позволит готовить в магистратуре высококвалифицированных специалистов, адаптированных к современным сложным условиям. В результате такого сотрудничества научные центры получают квалифицированные кадры, имеющие необходимые профессиональную компетенцию и способные как генерировать знания, так и реализовывать инновационные решения в научно-исследовательской и производственной деятельности

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Смирнов И.Г., Ценч Ю.С. Аспирантура в структуре научно-исследовательского института в новых условиях // Сборник науч-

ных докладов Международной научно-технической конференции. М.: ВИМ, 2015. С. 41-44.

2. Ерохин М.Н., Ананьин А.Д., Дорохов А.С. Реали-

зация магистерских программ по направлению «Агроинженерия» // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования. 2014. N4(64). С. 80-83.

3. Ценч Ю.С. Образование в контексте перехода к постиндустриальному обществу // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования. 2009. N6. С. 37-39.

4. Ценч Ю.С. Профессиональные стандарты как фактор сокращения дефицита квалифицированных кадров // АПК России. 2014. Т. 67. N2. С. 62-65.

5. Ценч Ю.С. Образование как социально-генетический механизм // Инновации в системе высшего образования: Материалы I Всероссийской научно-методической конференции. Челябинск: ЧИЭП им. М.В. Ладосина, 2010. С. 99-102.

6. Ценч Ю.С., Гордеева Е.Е. Балльно-рейтинговая система как фактор повышения качества обученности // Инновационные процессы в образовании: стратегия, теория и практика развития: Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции. Екатеринбург: РГППУ, 2013. С. 246-248.

REFERENCES

1. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Smirnov I.G., Tsench Yu.S. Postgraduate study in structure of research institute in new conditions. Sbornik nauchnykh dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Moscow: VIM, 2015: 41-44. (In Russian)

2. Erokhin M.N., Anan'in A.D., Dorokhov A.S. Implementation of the Master's programs in «Agroengineering». Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya. 2014; 4(64): 80-83. (In Russian)

3. Tsench Yu.S. Derivation in a transition context to a postindustrial society. Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo

obrazovaniya. 2009; 6: 37-39. (In Russian)

4. Tsench Yu.S. Professional standards as factor of reduction of qualified personnel deficiency. APK Rossii. 2014. Vol. 67; 2: 62-65. (In Russian)

5. Tsench Yu.S. Education as social and genetic mechanism. Innovatsii v sisteme vysshego obrazovaniya: Materialy I Vserossiyskoy nauchno-metodicheskoy konferentsii. Chelyabinsk: ChIEP im. M.V. Ladoshina, 2010: 99-102. (In Russian)

6. Tsench Yu.S., Gordeeva E.E. Rating system as factor of improvement of quality of proficiency. Innovatsionnye protsessy v obrazovanii: strategiya, teoriya i praktika razvitiya: Materialy VI Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ekaterinburg: RGPPU, 2013: 246-248. (In Russian)

Критерии авторства. Все авторы несут ответственность за представленные в статье сведения и плагиат.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution. The authors are responsible for information and plagiarism avoiding.

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

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

объявляет набор

на бюджетные и платные места

высшее образование – программа подготовки научно-педагогических кадров

в аспирантуру

на 2017-18 учебный год

Лицензия №2498 от 15.02.2016

Государственная аккредитация № 2475 от 19 января 2017года

По направлению подготовки 35.06.04

Технология, средства механизации и энергетическое оборудование

в сельском, лесном и рыбном хозяйстве.

Профиль: Машины, агрегаты и процессы (по отраслям);

Профиль: Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве;

Профиль: Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве.

Профиль: технологии и средства механизации сельского хозяйства.

высшее образование – программа Магистратуры на платные места

Лицензия №2498 от 15.02.2016

Адрес института: 109428, Москва, 1-й Институтский проезд, 5. Телефон для справок: 8 (499) 709-33-68.



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 по следующей тематике:

- сельскохозяйственные науки;
- сельскохозяйственные машины и технологии;
- механизация, электрификация и автоматизация сельского хозяйства;
- экономика сельского хозяйства.

Журнал включен в систему Российского индекса цитирования и в Международную информационную систему по сельскому хозяйству AGRIS. Электронные версии журнала размещаются на сайтах Российской универсальной научной электронной библиотеки.

Статья, направляемая в журнал для публикации, должна соответствовать основной тематике журнала.

Редакция принимает рукописи и электронные версии статей, набранные в Word шрифтом 14 пт. через 1,5 интервала, не более 12 страниц.

Необходимо приложить рецензию на статью.

Статьи аспирантов печатаются бесплатно.

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 внутривстрочные 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 и инициалы автора(ов);

- e-mail автора, контактный телефон;
- место работы автора (аббревиатуры не допускаются), почтовый адрес;
- ученая степень, ученое звание автора;
- реферат (объем 200-250 слов);
- ключевые слова;
- литература.

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.

Статьи, поступившие в редакционный отдел, печатаются при наличии рецензии. Отрицательная рецензия является основанием для отказа публикаций статьи.

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;
- полное название научного учреждения;
- реферат и ключевые слова;
- подписанные подписи и таблицы;
- 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 2017

**КАК
подписаться
на журнал?**



ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

Подписку на первое полугодие 2018 г. можно оформить
до 20 декабря включительно
в почтовых отделениях связи
по каталогу агентства «РОСПЕЧАТЬ»
Подписной индекс **35825**

ЖУРНАЛ

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

Редакция журнала:

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

E-mail: smit@vim.ru