



Сельскохозяйственные МАШИНЫ и ТЕХНОЛОГИИ

№ 1 2016

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ И ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЖУРНАЛ

**Экологическое воздействие двигателей трактора
на почву в зависимости от характеристики шин**

**Машинные технологии приготовления
органо-бактериальных удобрений**





Леониду Петровичу Кормановскому 85 лет!

*7 января 2016 года исполнилось 85 лет
академику РАН,
доктору технических наук, профессору*

Леониду Петровичу Кормановскому

Уважаемый Леонид Петрович!

Коллектив Всероссийского института механизации сельского хозяйства (ВИМ) сердечно поздравляет Вас с **Юбилеем!**

После окончания Ленинградского сельскохозяйственного института Вы прошли славный путь от инженера-механика до высоких постов руководителя государственного уровня.

Известна Ваша работа в партийных и сельскохозяйственных организациях Ленинградской области, Коми АССР, г. Москвы.

Вся Ваша работа в сельскохозяйственных и партийных органах была постоянно связана с научно-исследовательской деятельностью. Теоретические, экспериментальные разработки и их практическая реализация позволили Вам защитить диссертации сначала на соискание ученой степени кандидата, а затем и доктора технических наук.

В 1989 г. Вы, Леонид Петрович, назначены председателем Президиума Всероссийского отделения ВАСХНИЛ, а в 1990 году – избраны академиком и вице-президентом Россельхозакадемии.

Важным научным достижением в Вашей научной деятельности являются исследования и разработки поточно-конвейерной технологии содержания и обслуживания животных, которая защищена авторскими свидетельствами и патентами.

Значительное место в Ваших исследованиях занимают вопросы автоматизации трудоемких процессов в животноводстве на базе электроники и микропроцессорной техники. Новым важным научным направлением стали исследования и разработка комбинированных многофункциональных машин для животноводства, а также решение проблем

энергосбережения.

В настоящее время Вы, Леонид Петрович, – руководитель научной проблемы по точному прецизионному земледелию и животноводству, а также проекта «Дифференцированное внесение минеральных удобрений в системе координатного земледелия». Кроме того, Вы возглавляете Межотраслевой научно-технический центр по машинам и оборудованию для производства молока МНТЦ-ВИЭСХ «Техника для молока».

Многие годы Вы вели работу по международному научно-техническому сотрудничеству, являясь президентом Евро-Азиатской ассоциации, Международной организации инженеров сельскохозяйственного производства CIGR, Вам присвоено звание профессора Международного Клуба Болоньи – «Стратегия и развитие механизации сельского хозяйства».

За заслуги в научной и производственной деятельности Вы награждены тремя орденами Трудового Красного Знамени, орденом «Знак почета», медалями, почетными грамотами Минсельхоза и Россельхозакадемии.

В этот знаменательный день разрешите пожелать Вам, уважаемый Леонид Петрович, крепкого здоровья, благополучия, успехов в дальнейшей творческой деятельности и претворения в жизнь новых идей на благо нашей Родины.

*От имени сотрудников ВИМ,
директор,*

академик РАН

А. Измайлов



Сельскохозяйственные МАШИНЫ И ТЕХНОЛОГИИ



Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства» Российской академии наук

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ
И ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЖУРНАЛ

Журнал зарегистрирован Федеральной службой
по надзору за соблюдением законодательства
в сфере массовых коммуникаций и охране
культурного наследия

Свидетельство ПИ № ФС77-27860
от 12 апреля 2007 г.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ
РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ:

В.В. Альт, член-корр. РАН,
СибФТИ, Новосибирск
А.А. Ежевский, почетный академик
РАСХН, ГОСНИТИ, Москва
М.Н. Ерохин, академик РАН,
РГАУ-МСХА, Москва
Ю.А. Иванов, член-корр. РАН,
ВНИИМЖ, Москва
А.Ю. Измайлов, академик РАН,
ВИМ, Москва
В.М. Кряжков, академик РАН,
ВИМ, Москва
И.М. Куликов, академик РАН,
ВСТИСП, Москва
Ю.Ф. Лачуга, академик РАН,
Москва
Э.И. Липкович, академик РАН,
АЧИИ, ДГАУ, Черноград
Я.П. Лобачевский, д.т.н., проф.,
ВИМ, Москва
В.Д. Попов, академик РАН,
ИАЭП, Санкт-Петербург
Б.А. Рунов, академик РАН,
ЦНСХБ, Москва
Д.С. Стребков, академик РАН,
ВИЭСХ, Москва

ИНОСТРАННЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

В.И. Кравчук, член-корр. НААН
Украины, Киев
Ж.С. Садыков, д.т.н., проф.,
НИИ АИПиНТ, КазНАУ,
Казахстан, Алматы
С.Г. Яковчик, к.с.-х.н., НПЦ НАН
Беларуси, Минск

НАД НОМЕРОМ РАБОТАЛИ:

В.В. Бижаев
С.В. Гришуткина
Р.М. Нурбагандова

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

КОЛОНКА РЕДАКТОРА

Общее собрание Отделения сельскохозяйственных наук РАН 3

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

Годжаев З.А., Измайлов А.Ю., Шевцов В.Г., Лавров А.В., Русанов А.В.

Исследование давления колесного движителя на почву с учетом
характеристики шины 5

Лобачевский Я.П., Трубилин Е.И., Труфляк Е.В.

Ресурсосберегающие машинные технологии и режимы работы
кукурузоуборочных машин 11

Зеников В.И.

Исследование и разработка материалопровода измельчителя
барабанного типа 17

Пехальский И.А., Жалнин Э.В., Нурбагандова Р.М.

Обоснование оптимального режима работы пневматического
сортировального стола производительностью 9 т/ч 22

Голубкович А.В., Пехальский И.А., Дадыко А.И., Чижиков А.Г.

Повышение эффективности термообработки растительных
материалов в трубчатых реакторах 27

Сибирёв А.В., Аксенов А.Г., Емельянов П.А.

Обоснование конструкции дискового заделывающего органа
лукопосадочной машины 32

ПОЧВООБРАБОТКА

Кравчук В.И., Давыдюк В.П.

Принципы исследования деформации почвенного агрегата
при взаимодействии с рабочим элементом машины 37

ПРИМЕНЕНИЕ УДОБРЕНИЙ

Личман Г.И., Марченко Н.М., Елизаров В.П., Марченко А.Н.

Обоснование параметров машинной технологии приготовления
органо-бактериальных удобрений 43

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



Founder and publisher:
Federal State Budgetary
Scientific Institution
All-Russia Research Institute
of Mechanization for Agriculture
of Russian Academy of Science

SCIENTIFIC-PRODUCTION AND
INFORMATION JOURNAL

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

Certificate ПИ № ФС77-27860
from April, 12th, 2007

EDITOR-IN-CHIEF
Kolesnikova V.A.

EDITORIAL BOARD:

Al't V.V. – D.Sc.(Eng), corr.m. of RAS
Ezhevskiy A.A. – honorary m. of RAAS
Erokhin M.N. – D.Sc.(Eng.), m. of RAS
Ivanov Yu.A. – D.Sc.(Agr), corr.m. of RAS
Izmaylov A.Yu. – D.Sc.(Eng.), m. of RAS
Kryazhkov V.M. – D.Sc.(Eng.), m. of RAS
Lachuga Yu.F. – D.Sc.(Eng.), m. of RAS
Lipkovich E.I. – D.Sc.(Eng.), m. of RAS
Lobachevskiy Ya.P. – D.Sc.(Eng.), prof.
Popov V.D. – D.Sc.(Eng.), m. of RAS
Runov B.A. – D.Sc.(Eng.), m. of RAS
Strebkov D.S. – D.Sc.(Eng.), m. of RAS

EDITORIAL BOARD
FOREIGN MEMBERS:

Kravchuk V.I. – D.Sc.(Eng), corr.m. of NAAS
of Ukraine
Sadykov Zh.S. – D.Sc.(Eng), prof.
of Kazakhstan
Yakovchik S.G. – C.Sc.(Agr), SPC of NAS
of Belarus

THEY WORKED
WITH JOURNAL NUMBER:

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 FSBSI VIM
Russian Academy of Science

The magazine 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 15.01.2016
The circulation is 500 copies

CONTENTS

EDITOR'S NOTE

General meeting of Agricultural sciences department of RAS 3

NEW TECHNICS AND TECHNOLOGIES

Z.A. Godzhaev, A.Yu. Izmaylov, V.G. Shevtsov, A.V. Lavrov, A.V. Rusanov
Assessment of wheel propeller contact pressure upon soil with use of
tire universal performance 5

Ya.P. Lobachevsky, E.I. Trubilin, E.V. Truflyak
Optimization of parameters of resource-saving machine technologies
and operating modes of corn harvesters 11

V.I. Zenikov,
Research and development of material feeder of drum type shredder . . . 17

I.A. Pekhal'skiy, V.D. Babchenko, R.M. Nurbagandova
Justification of an optimum operating mode of a pneumatic gravity
table separator with a productivity of 9 tons per hour 22

A.V. Golubkovich, I.A. Pekhal'skiy, A.I. Dadyko, A.G. Chizhikov
Increase of efficiency of plant materials heat treatment
in tubular reactors 27

A.V. Sibirev, A.G. Aksenov, P.A. Emel'yanov
Justification of design of disk covering working element
in onion planter 32

SOIL CULTIVATION

V.I. Kravchuk, V.P. Davydyuk
Principles of research of soil ped deformation at interaction
with machine working element 37

FERTILIZER APPLICATION

G.I. Lichman, N.M. Marchenko, V.P.Elizarov, A.N. Marchenko
Justification of parameters of machine technology of organo-bacterial
fertilizers preparation 43

*The magazine is included in the periodical editions list
for the International data base AGRIS*

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

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

ОБЩЕЕ СОБРАНИЕ ОТДЕЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ НАУК РАН



В конце прошлого года состоялось общее собрание Отделения сельскохозяйственных наук РАН, в котором приняли участие академики и члены-корреспонденты РАН, директора ВНИИ, ректоры вузов, ведущие ученые. На собрании присутствовали члены Совета Федерации и депутаты Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации, ответственные работники Министерства сельского хозяйства РФ и Федерального агентства научных организаций, других министерств и ведомств.

Член Президиума РАН, академик Лачуга Ю.Ф. акцентировал внимание на проблеме импортозамещения в АПК, способствующей выполнению Доктрины продовольственной безопасности страны.

В послании Президента РФ от 3 декабря 2015 г. в виде поручения ученым РАН указано на необходимость к 2020 г. обеспечить насыщение отечественного продовольственного рынка российскими продуктами питания.

Решение проблемы импортозамещения, по мнению ученых, следует искать в ускоренном инновационном развитии сельхозпроизводства.

Активную позицию в этом направлении, подчеркнул Лачуга Ю.Ф., занимает новый состав Министерства сельского хозяйства Российской Федерации. В планы Министерства на ближайшие десять лет входит:

- утроить использование минеральных удобрений в стране;
- максимально сократить импорт средств защиты растений;
- существенно нарастить отечественный потен-

циал в селекции, семеноводстве и отечественном сельхозмашиностроении, в производстве технических средств и оборудования для хранения и переработки сельхозпродукции и сырья для легкой и пищевой промышленности;

- используя эти и другие меры активно идти в направлении существенного роста урожайности зерновых культур.

Академик Лачуга Ю.Ф. отметил далее наметившиеся сдвиги в решении проблемы импортозамещения как в растениеводстве, так и в животноводстве.

В решении проблемы импортозамещения, подчеркнул он, важное место занимает отечественное сельхозмашиностроение.

Необходимо отметить, что расчет на импорт сельскохозяйственной техники из-за рубежа оказался неоправданным. Мы получили не только морально устаревший парк техники, но и резкое его сокращение, повлекшее снижение энергообеспеченности каждого гектара пашни вдвое.

Если в начале 90-х гг. на 1000 га пашни приходилось 11 тракторов, то сейчас – лишь 3; зерноуборочных комбайнов – 7 и 2 соответственно.

Аналогичная ситуация складывается и в других отраслях сельского хозяйства. Сейчас в стране, отметил Лачуга Ю.Ф., имеется благоприятная возможность возродить отечественное сельхозмашиностроение и нарастить производство продовольствия и сельскохозяйственного сырья в стране.

Представляется, что приоритетом на современном этапе должна стать государственная поддержка фундаментальной науки, а также четкое определение направлений прикладной науки.

Лачуга Ю.Ф. отметил далее весомый вклад сельхозпроизводителей Крыма в решение проблемы импортозамещения и поставок продовольствия для населения страны.

О мерах, необходимых для дальнейшего расширения импортозамещения, говорил в своем докла-



Академик Лачуга Ю.Ф.

де член Президиума РАН академик Ушачев И.Г.

Вице-президент РАН академик Романенко Г.А. в своем выступлении подчеркнул, что в решении проблемы импортозамещения важно отойти от сырьевой составляющей экспорта и укрепить отечественную перерабатывающую промышленность.



Академик Романенко Г.А.

стоит тракторный парк, где общие потери составили более 1 млн ед.

Необходимы срочные государственные меры по восстановлению тракторного парка, подчеркнул Измайлов А.Ю.

Аналогичная тревожная ситуация сложилась в обеспеченности сельского хозяйства зерноуборочными комбайнами. С учетом фактических посевных площадей расчетная потребность в комбайнах составляет 260-280 тыс. ед. Измайлов А.Ю. отметил также, что в настоящее время в России отсутствуют машиностроительные предприятия, серийно выпускающие специализированную технику для садоводства и овощеводства.

Разработка и производство отечественных специальных машин для возделывания садов и виноградников и техники для овощеводства является важ-



Академик Ушачев И.Г.

области сельхозтехники» выступил член Президиума РАН академик Измайлов А.Ю. Он отметил, что состояние сельскохозяйственного производства в России в течение 25 лет характеризуется снижением уровня его технической оснащенности, причем первым в цепи сокращения



Академик Измайлов А.Ю.

ной задачей, решение которой позволит укрепить продовольственную безопасность страны. Далее Измайлов А.Ю. отметил такую важную проблему, как техническая оснащенность работ в селекции и семеноводстве. ВИМ разрабатывает широкую гамму специальной техники для селекции и семеноводства, многие образцы которой превосходят зарубежные аналоги.

Научно-технический потенциал ВИМ и технологический уровень завода позволяют полностью обеспечить необходимой специальной техникой все селекционные центры и семеноводческие хозяйства



Академик Сысучев В.А.

экономики, отвечающей национальным интересам страны, а также о корректировке «Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 годы» говорил академик РАН Пошкус Б.И. По его мнению, следует увеличить финансовую поддержку сельского хозяйства страны.

страны. Но для этого необходимы определенные экономические условия.

Академик РАН Сысучев В.А. в своем выступлении остановился на вопросах развития селекции и семеноводства и необходимости создания Федерального центра по проблемам Арктики.

О проблеме развития



Академик Пошкус Б.И.

В Постановлении, принятом на Годичном собрании, выражена уверенность, что ученые РАН приложат все усилия для решения проблемы импортозамещения в АПК, способствующей выполнению Доктрины продовольственной безопасности страны.



УДК 631.3.07

ИССЛЕДОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ КОЛЕСНОГО ДВИЖИТЕЛЯ НА ПОЧВУ С УЧЕТОМ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШИНЫ

ГОДЖАЕВ З.А.,
докт. техн. наук,

ИЗМАЙЛОВ А.Ю.,
академик РАН,
ШЕВЦОВ В.Г.,
канд. техн. наук,

ЛАВРОВ А.В.,
канд. техн. наук,
РУСАНОВ А.В.,
инженер

Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, 1-й Институтский проезд, 5, 109428, Москва, Российская Федерация, e-mail: fic51@mail.ru

Основным параметром, характеризующим уровень экологического воздействия движителей трактора на почву, служит максимальное контактное давление. Провели анализ изменения максимального давления на почву для различных вариантов внутреннего давления в шинах и вертикальной нагрузки на колесо. Представили теоретическое обоснование и провели эксперимент, чтобы выявить возможности использования универсальной характеристики шины при оценке изменения контактного давления колесного движителя на почву. Предложили методику определения и регулирования максимального контактного давления колесного движителя на опорное основание. Выявили, что эта методика позволяет задавать параметры для систем контроля и регулирования максимального давления на почву путем измерения прогиба шины и изменения давления в шинах. На основании схемы деформации шины пришли к выводу, что при статистических испытаниях для определения максимального контактного давления необходимо рассмотреть универсальную характеристику шины в виде номограммы. Показали, что в соответствии с универсальной характеристикой шины данная номограмма позволяет наглядно изучить влияние нагрузки и внутреннего давления в шине на величину максимального контактного давления. При постоянной нагрузке снижение внутреннего давления воздуха в шине уменьшает максимальное давление на почву. Построили универсальные характеристики шин в диапазоне изменения внутреннего давления воздуха от 160 кПа до 90 кПа. Установили, что изменение внутреннего давления воздуха со 150 до 100 кПа позволяет для шины 15,5R38 снизить максимальное контактное давление на 13 кПа (9,6 процента) – со 135 до 122 кПа, что соответствует допустимому уровню давления на почву при ее влажности в слое 0-30 см: 0,5-0,6 НВ в весенний период и 0,6-0,7 НВ в осенний период. В случае применения шины 16,9R38 максимальное давление на почву уменьшается с 84 до 75 кПа, то есть на 10,4 процента.

Ключевые слова: сельскохозяйственный трактор, пневматическое колесо, шина, вертикальная нагрузка, внутреннее давление воздуха, максимальное контактное давление.

Проблемы повышения технического уровня и обеспечения экологической безопасности сельскохозяйственных тракторов взаимосвязаны и постоянно находятся в сфере внимания их разработчиков [1-4]. Однако ряд вопросов по оценке воздействия колесного движителя на почву остается открытым [5]. Так, установлено, что определяющим параметром, характеризующим уровень экологического воздействия движителей трактора при работе, служит их максимальное давление на

почву [6]. Вместе с этим до настоящего времени нет рекомендаций по расчетному методу определения внутреннего давления воздуха в шине, соответствующего допустимому давлению на почву.

Цель исследования – выявление закономерностей влияния внутреннего давления воздуха в шине на величину давления на почву в пределах пятна контакта в соответствии с экологическими требованиями по ограничению воздействия ходовых систем на почву по ГОСТ 26955-86 «Техника сель-

скохозийственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву»; теоретическое обоснование и проведение численного эксперимента для установления возможности использования универсальной характеристики шины при оценке изменения контактного давления колесного движителя на почву.

Материалы и методы. В исследовании использованы техническая характеристика трактора Беларусь 82.1, положения ГОСТ 7463-2003 «Шины пневматические для тракторов и сельскохозяйственных машин. Технические требования», ГОСТ 26955-86 «Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву», персональный компьютер.

Результаты и обсуждение. Исходя из схемы деформации шины при статистических испытаниях (рис. 1), для определения максимального контактного давления необходимо рассмотреть универсальную характеристику шины в виде номограммы:

$$F = \frac{f^2}{C_1 + C_2 f / (p_w + p_0)}, \quad (1)$$

где F – вертикальная нагрузка на колесо, кН;
 f – прогиб шины, м;

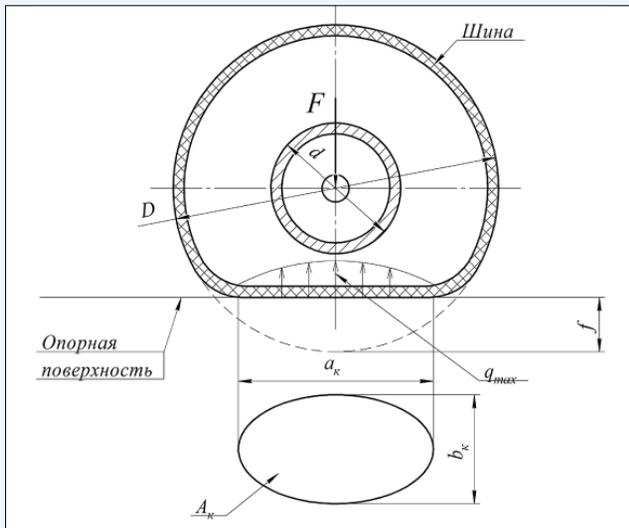


Рис. 1. Схема деформации пневматического колеса при статических испытаниях

$$C_1, \frac{\text{м}^2}{\text{кН}}; \quad C_2, \frac{1}{\text{м}}; \quad p_0, \text{кПа} - \text{постоянные коэффициенты для данной шины};$$

p_w – внутреннее давление воздуха в шине, кПа.

Универсальная характеристика шины ранее была представлена в виде номограммы, состоящей из трех квадрантов, подтвержденных соответствующими уравнениями [7]. Однако не были указаны ни алгоритм, ни примеры расчетов. С целью систематизации материала приведем упомянутое опи-

сание номограммы.

Номограмма (рис. 2) представляет собой универсальную характеристику шины (1) в виде кривых, описываемых уравнениями (2)-(4).

В квадранте I располагается семейство зависимостей $f = f(F, p_w)$, рассчитанных для конкретной шины, исходя из формулы (1):

$$f = \frac{C_2 F}{2(p_w + p_0)} + \sqrt{\left[\frac{C_2 F}{2(p_w + p_0)} \right]^2 + C_1 F} \quad (2)$$

при $p_0 > 0$.

С уменьшением давления p_w крутизна зависимостей прогиба f от вертикальной нагрузки F возрастает.

В квадранте II располагается зависимость, отражающая связь для данной шины между прогибом f (ось ординат) и контурной площадью контакта A_k , рассчитанной по формуле:

$$A_k = \frac{\pi}{4} a_k b_k, \quad (3)$$

в которой

$$a_k = C_3 \sqrt{f(D - f)};$$

$$b_k = 2\sqrt{f(2R_{\text{пр}} - f)};$$

$$C_3 = \frac{20,5}{11,9 + \left[\frac{D}{B} - \frac{|n-9|}{2} - 3 \right]};$$

$$R_{\text{пр}} = \frac{(B + H)}{2,5}; \quad H = \frac{(D - d)}{2},$$

где D, B – наружный диаметр и ширина профиля шины, м;

d – посадочный диаметр обода, м;

H – высота профиля шины, м;

n – норма слойности, ед.

В квадранте III представлено семейство гипербол, описывающих изменение максимального контактного давления на почву q_{max} в зависимости от контурной площади A_k и нормальной нагрузки на колесо F :

$$q_{\text{max}}^T = \frac{K_2 F}{K_1 A_k}, \quad (4)$$

где $K_2 = 1,5$ – коэффициент продольной неравномерности распределения давления;

K_1 – коэффициент приведения площади контакта шины колеса к условиям работы на почвенном основании.

Чем меньше нагрузка F , тем ближе проходит гипербола к центру координат O .

В соответствии с универсальной характеристикой шины (1) представленная номограмма позво-

ляет наглядно рассматривать влияние нагрузки F и внутреннего давления воздуха в шине p_w на величину максимального контактного давления. Так, при постоянной нагрузке F_2 снижение внутреннего давления воздуха в шине от p_{w1} до p_{w3} позволяет уменьшить максимальное давление на почву от q_{max}^{21} до q_{max}^{23} .

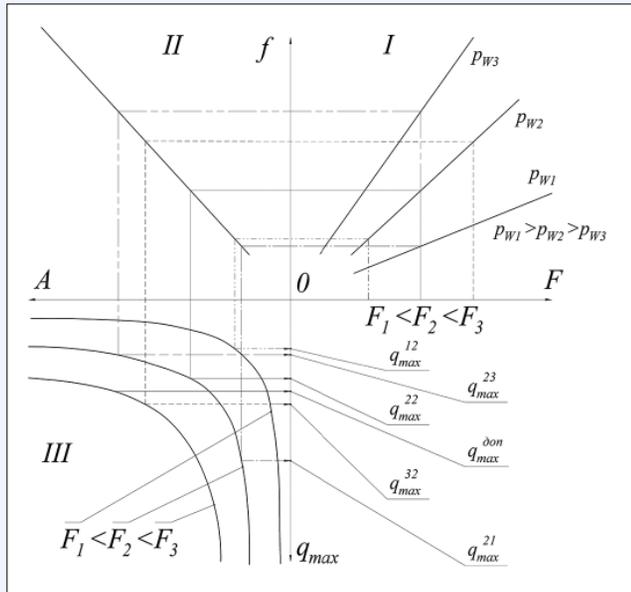


Рис. 2. Номограмма для определения влияния внутреннего давления воздуха в шине p_w и вертикальной нагрузки F на максимальное контактное давление q_{max}

При постоянном внутреннем давлении воздуха p_{w2} и увеличении вертикальной нагрузки от F_1 до F_3 максимальное контактное давление возрастает от q_{max}^{12} до q_{max}^{32} . Индексы при максимальном давлении: первая цифра – уровень вертикальной нагрузки (1 – F_1 ; 2 – F_2 ; 3 – F_3), вторая цифра – уровень внутреннего давления воздуха в шинах (1 – p_{w1} ; 2 – p_{w2} ; 3 – p_{w3}).

Практическая применимость предложенного способа оценки и регулирования максимального контактного давления колесного движителя на опорное основание рассмотрена на примере универсально-пропашного колесного трактора тягового класса 1,4 (Беларус 82.1), оснащенного двумя типами шин для задних ведущих колес [8].

Нормы нагрузок и давление в шинах 15,5R38 и 16,9R38 (табл. 1) позволяют представить наглядно совмещение нагрузки шин с исходным рабочим режимом $F = 15$ кН при $p_w = 150$ кПа (рис. 3).

Для определения постоянных коэффициентов C_1 и C_2 , входящих в формулу (2), в соответствии с рекомендациями построены универсальные характеристики выбранных шин (табл. 2, рис. 4) в диапазоне изменения внутреннего давления воздуха от $p_w = 160$ кПа (точки A_1 и A_2) до $p_w = 90$ кПа (точ-

Таблица 1

Нормы нагрузок на шину при скорости до 30 км/ч, кН (кгс)

Давление, кПа	Тип шины	
	15,5R38	16,9R38
60	-	12,74 (1300)
70	-	14,70 (1500)
80	13,92 (1420)	16,66 (1700)
90	14,90 (1520)	17,74 (1810)
100	15,88 (1620)	18,82 (1920)
110	16,81 (1715)	19,29 (2030)
120	17,74 (1810)	20,97 (2140)
130	18,38 (1875)	22,00 (2245)
140	19,36 (1975)	23,08 (2355)
150	20,14 (2055)	24,16 (2465)
160	20,78 (2120)	25,24 (2575)

ки B_1 и B_2). При расчете универсальных характеристик использованы следующие соотношения:

$$p_o = 16,7 \cdot n \left(\sqrt{\frac{D}{B}} - 1,4 \right) - 28 \geq 0$$

(при $p_o < 0$ в расчетах принимаются $p_o = 0$);

$$[f] = \frac{D}{2} - r_o,$$

где r_o – статистический радиус.

Постоянные коэффициенты, входящие в формулы (2) и (3), представленные в таблице 3, позволя-

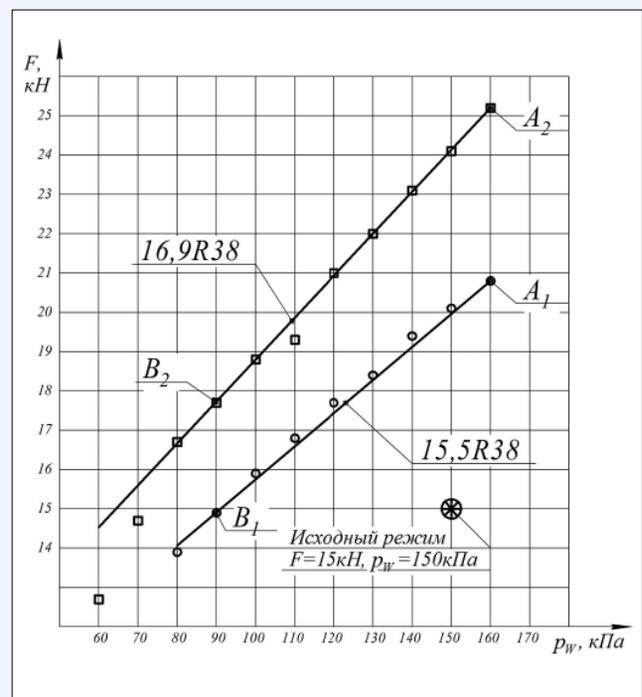


Рис. 3. Нормы нагрузок и давлений p_w в шинах 15,5R38 и 16,9R38

Таблица 2

УНИВЕРСАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ШИН

Показатель	Тип шины			
	15,5R38		16,9R38	
	A'_1	A'_2	B'_1	B'_2
$\frac{[f^2]}{F} \cdot 10^4, \text{ м}^2/\text{кН}$	1,50	2,12	3,06	4,38
$\frac{[f]}{p_w + p_0} \cdot 10^4, \text{ м/кПа}$	2,42	3,68	4,27	6,0

ют в соответствии с предложенной структурой номограммы (рис. 2) рассчитать прогиб шин f и соответствующие значения максимального контактного давления q_{\max} (табл. 4, рис. 5).

Таблица 3

ЗНАЧЕНИЯ ПОСТОЯННЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ

Наименование показателя	Тип шины	
	15,5R38	16,9R38
$C_1 \cdot 10^4, \text{ м}^2/\text{кН}$	1,45	3,06
$C_2 \cdot 10^4, \text{ м}^{-1}$	0,478	0,765
$p_0, \text{ кПа}$	51,50	48,95
C_3	1,655	1,666
K_1	1,1	1,1

Проведенные расчеты показывают, что изменение внутреннего давления воздуха с $p_w = 150$ кПа до $p_w = 100$ кПа позволяет для шины 15,5R38 уменьшить максимальное контактное давление q_{\max} на 12,98 кПа (9,6%) – со 135,07 кПа до 122,09 кПа, что соответствует допустимому уровню давления на почву при ее влажности в слое 0-30 см: 0,5-0,6 НВ в весенний период и 0,6-0,7 НВ в осенний период.

Таблица 4

ПРОГИБ ШИНЫ И МАКСИМАЛЬНОЕ КОНТАКТНОЕ ДАВЛЕНИЕ ПРИ ПОСТОЯННОЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ НАГРУЗКЕ $F = 15$ кН

Показатели	Внутреннее давление воздуха, p_w , кПа					
	150	140	130	120	110	100
15,5R38						
$f_1, \text{ м}$	0,068	0,069	0,071	0,072	0,074	0,076
$q_{\max}, \text{ кПа}$	135,07	133,22	129,84	128,21	125,46	122,09
16,9R38						
$f_1, \text{ м}$	0,1024	0,1054	0,1071	0,1100	0,1127	0,1164
$q_{\max}, \text{ кПа}$	83,88	81,90	80,77	78,96	77,32	75,18

В случае применения шины 16,9R38 максимальное давление уменьшается с 83,88 кПа до 75,18 кПа, то есть на 10,4%, причем допустимые нормы, соответственно, смещаются из диапазона влажности

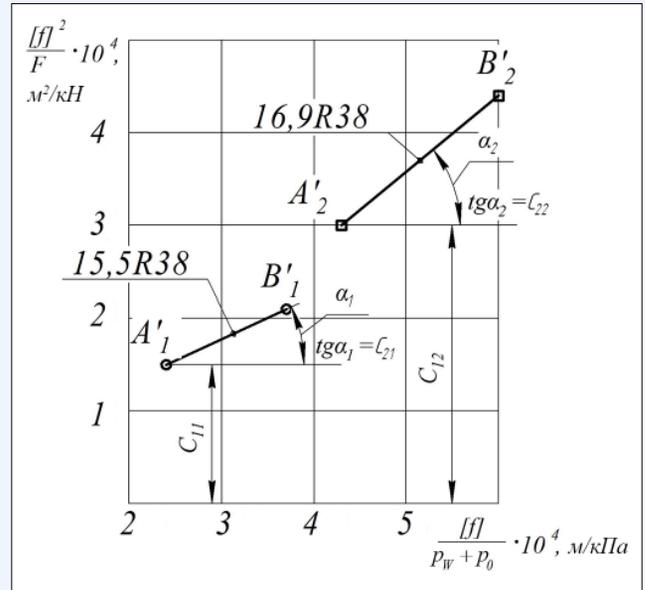


Рис. 4. Универсальные характеристики шин 15,5R38 и 16,9R38

почвы 0,7-0,8 НВ в диапазон свыше 0,8 НВ.

На практике представленный метод расчета максимального контактного давления на почву дол-

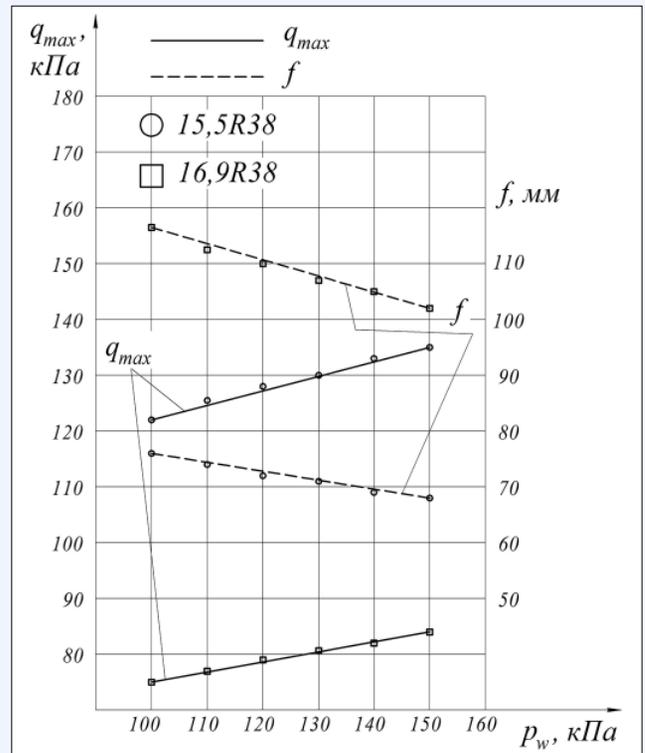


Рис. 5. Изменение максимального контактного давления q_{\max} и прогиба шины f в зависимости от внутришинного давления p_w при постоянной вертикальной нагрузке $F=15$ кН

жен учитывать, что изменение вертикальной нагрузки на колесо влияет на устойчивость движения мобильного энергосредства и комфортность усло-

вий работы оператора [9-10].

Выводы

Полученные диапазоны уменьшения контактного давления свидетельствуют о возможности применять составленную нами универсальную характеристику шины по предложенному методу для определения и регулирования его максимального значения. Это позволит выполнить требования [4] по экологически допустимому уровню максимального давления на почву движителей мобильной сельскохозяйственной техники (тракторы, комбайны, транспортные средства, сельскохозяйственные машины и другие виды техники, имеющие собственные движители).

Представленная номограмма при наличии экс-

периментально определенных для конкретной шины коэффициентов C_1 , C_2 и p_0 (либо рассчитанных по рекомендациям [8]) и установленного в соответствии с [7] максимально допустимого давления $q_{\max}^{\text{доп}}$ позволяет создать информационное поле для разработки системы контроля и регулирования максимального контактного давления колесного движителя на почву путем измерения прогиба шины и регулированием его с помощью изменения давления в шинах p_w .

Наглядный характер представления универсальной характеристики шины позволяет рекомендовать разработанную номограмму для использования ее в учебном процессе при изучении экологических характеристик колесного движителя.

Литература

1. Антышев Н.М., Бейлис В.М., Шевцов В.Г. Аспекты разработки критериев качества, надежности и экономической эффективности сельскохозяйственной техники // *Техника в сельском хозяйстве*. – 2010. – № 4. – С. 22-25.

2. Измайлов А.Ю., Елизаров В.П., Лобачевский Я.П. и др. Концепция модернизации парка сельскохозяйственных тракторов России на период до 2020 года. – СПб.: ВИМ, 2013. – 87 с.

3. Лачуга Ю.Ф., Кряжсков В.М., Шевцов В.Г. Тракторный парк – базовый ресурс механизированного сельхозпроизводства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. – 2012. – № 5. – С. 4-11.

4. Шевцов В.Г., Соловейчик А.А. Влияние технического уровня сельскохозяйственных тракторов на эксплуатационные показатели машинно-тракторных агрегатов // *Автоматизация и информационное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве: Сб. докл. XI Междунар. науч.-практ. конф.* – Углич, 2010. – С. 194-205.

5. Антышев Н.М., Шевцов В.Г. О некоторых приоритетах создания сельскохозяйственных тракторов на современном этапе развития АПК // *Инновационные технологии и техника нового*

поколения – основа модернизации сельского хозяйства: Сб. научн. докл. Междунар. науч.-практ. конф. Ч. 2. – М.: ВИМ, 2011. – С. 21-29.

6. ГОСТ 26955-86. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия движителей на почву. Дата введения 01.01.1987.

7. Шевцов, В.Г., Соловейчик А.А., Русанов А.В., Лавров А.В. Использование универсальной характеристики шины для определения максимального давления колесного движителя на почву // *Актуальные направления научных исследований XXI века: Теория и практика: Сб. научн. тр. по мат. Междунар. заочно науч.-практ. конф. № 2, ч. 2(72).* – Воронеж: ВГЛТА, 2014. – С. 169-173.

8. Кряжсков В.М., Шевцов В.Г., Гурылев Г.С., Лавров А.В. Анализ рынка сельскохозяйственных тракторов России в 2008-2013 гг. // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. – 2014. – № 5. – С. 12-16.

9. Годжаев З.А., Прядкин В.И. Моделирование взаимодействия высокоэластичной шины с неровностью дороги // *Тракторы и сельхозмашины*. – 2014. – № 1. – С. 16-18.

10. Гончаренко С.В., Годжаев З.А., Поповский А.А., Станкевич Э.Б., Корень В.В. Идентификация тракторных шин по тяговому классу // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. – 2010. – № 4. – С.

ASSESSMENT OF WHEEL PROPELLER CONTACT PRESSURE UPON SOIL WITH USE OF TIRE UNIVERSAL PERFORMANCE

Z.A. Godzhaev, A.Yu. Izmaylov, V.G. Shevtsov, A.V. Lavrov, A.V. Rusanov

All-Russia Research Institute of Mechanization for Agriculture, 1st Institutskiy proezd, Moscow, 109428, Russian Federation, e-mail: vim@vim.ru

A maximum contact pressure is a key parameter characterizing a level of ecological impact of tractor propellers

on the soil. The maximum pressure upon the soil varies with internal pressure in tires and vertical load of a wheel. An universal tire performance can be used at an assessment of change of contact pressure of a wheel propeller upon the soil. The authors offered a technique of definition and regulation of the maximum contact pressure of the wheel propeller upon the basic basis. This technique allows to set parameters for monitoring systems and regulation of the maximum pressure upon the soil by measurement of a tire deflection and change of pressure in tires. At statistical tests for determination of the maximum contact pressure it is necessary to consider the universal performance of the tire nomographically. This nomogram allows to consider visually influence of loading and internal pressure in the tire on a size of the maximum contact pressure. An internal pressure decrease in the tire makes it possible to reduce the maximum pressure upon the soil at constant loading. The authors investigated universal performances of the tires in the range of change of internal air pressure from 160 to 90 kPas. Change of internal pressure from 150 to 100 kPas reduce for the tire 15,5R38 the maximum contact pressure upon 13 kPas (9,6 percent): from 135 to 122 kPas. That corresponds to the admissible level of pressure upon the soil at its humidity in a layer of 0-30 cm: 0,5-0,6 minimum moisture-holding capacity during the spring period and 0,6-0,7 minimum moisture-holding capacity during the autumn period. In case of use of the tire 16,9R38 the maximum pressure upon the soil decreases from 84 to 75 kPas, that is by 10,4 percent.

Keywords: Agricultural tractor; Pneumatic wheel; Tire; Vertical loading; Internal pressure of air; Maximum contact pressure.

References

1. Antyshev N.M., Beylis V.M., Shevtsov V.G. *Aspekty razrabotki kriteriev kachestva, nadezhnosti i ekonomicheskoy effektivnosti sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Aspects of development of criteria of quality, reliability and economic efficiency of agricultural machinery]. Tekhnika v sel'skom khozyaystve. 2010. No. 4. pp. 22-25 (Russian).*
2. Izmaylov A.Yu., Elizarov V.P., Lobachevkiy Ya.P., et al. *Kontseptsiya modernizatsii parka sel'skokhozyaystvennykh traktorov Rossii na period do 2020 goda [Concept of modernization of agricultural tractors fleet of Russia for the period till 2020]. SPb.: VIM, 2013. 87 pp. (Russian).*
3. Lachuga Yu.F., Kryazhkov V.M., Shevtsov V.G. *Traktornyy park – bazovyy resurs mekhanizirovannogo sel'khozproduktstva [Tractor fleet is a basic resource mechanized agricultural production]. Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii. 2012., No. 6. pp. 4-11 (Russian).*
4. Shevtsov V.G., Soloveychik A.A. *Vliyaniye tekhnicheskogo urovnya sel'skokhozyaystvennykh traktorov na ekspluatatsionnye pokazateli mashinno-traktornykh agregatov [Influence of a technological level of agricultural tractors on operational indicators of machine and tractor units]. Avtomatizatsiya i informatsionnoye obespechenie proizvodstvennykh protsessov v sel'skom khozyaystve: Sb. dokl. XI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Uglich, 2010. pp. 194-205 (Russian).*
5. Antyshev N.M., Shevtsov V.G. *O nekotorykh prioritetakh sozdaniya sel'skokhozyaystvennykh traktorov na sovremennom etape razvitiya APK [About some priorities of creation of agricultural tractors at the present stage of development of agrarian and industrial complex]. Innovatsionnye tekhnologii i tekhnika novogo pokoleniya – osnova modernizatsii sel'skogo khozyaystva: Sb. nauchn. dokl. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Ch. 2. M.: VIM, 2011. pp. 21-29 (Russian).*
6. GOST 26955-86. *Tekhnika sel'skokhozyaystvennaya mobil'naya. Normy vozdeystviya dvizhiteley na pochvu [Mobile agricultural machinery. Norms of impact of propellers on the soil]. Data vvedeniya 01.01.1987 (Russian).*
7. Shevtsov V.G., Soloveychik A.A., Rusanov A.V., Lavrov A.V. *Ispol'zovanie universal'noy kharakteristiki shiny dlya opredeleniya maksimal'nogo davleniya kolesnogo dvizhitelya na pochvu [Use of tire universal performance for determination of maximum pressure of wheel propeller upon the soil]. Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: Teoriya i praktika: Sb. nauchn. tr. po mat. Mezhdunar. zaochno nauch.-prakt. konf. № 2, ch. 2(7-2). – Voronezh: VGLTA, 2014. pp. 169-173 (Russian).*
8. Kryazhkov V.M., Shevtsov V.G., Gurylev G.S., Lavrov A.V. *Analiz rynka sel'skokhozyaystvennykh traktorov Rossii v 2008-2013 gg. [Analysis of agricultural tractors market of Russia in 2008-2013]. Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii. 2014. No. 5. pp. 12-16 (Russian).*
9. Godzhaev Z.A., Pryadkin V.I. *Modelirovaniye vzaimodeystviya vysokoelastichnoy shiny s nerovnost'yu dorogi [Modeling of interaction of highly elastic tire with road roughness]. Traktory i sel'khoz mashiny. 2014. No. 1. pp. 16-18 (Russian).*
10. Goncharenko S.V., Godzhaev Z.A., Popovskiy A.A., Stankevich E.B., Koren' V.V. *Identifikatsiya traktornykh shin po tyagovomu klassu [Tractor tires identification on traction class]. Traktory i sel'skokhozyaystvennye mashiny. 2010. No. 4. pp. (Russian).*

УДК 631.355.06

РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИЕ МАШИННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ КУКУРУЗОУБОРОЧНЫХ МАШИН

ЛОБАЧЕВСКИЙ Я.П.¹,
докт. техн. наук,
профессор,

ТРУБИЛИН Е.И.²,
докт. техн. наук,
профессор,

ТРУФЛЯК Е.В.²,
докт. техн. наук,
профессор

¹Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Российская Федерация

²Кубанский государственный аграрный университет, ул. Калинина, 13, г. Краснодар, 350044, Российская Федерация, e-mail: trubilinei@mail.ru

Увеличить производство кукурузы можно, если повысить ее урожайность и снизить потери на всех этапах уборочного цикла. Для этого необходимы современные высокоэффективные ресурсосберегающие технологии и технические средства уборки и послеуборочной обработки кукурузы в едином комплексе. Предложили концепцию многоуровневого системного подхода к взаимосвязанному функционированию всех подсистем производственных процессов заготовки кукурузы (от уборки до переработки и хранения урожая) по критерию ресурсосбережения. Обосновали необходимость применения ресурсосберегающих технологий уборки кукурузы в початках с их обмолотом в поле и с получением зерностержневой смеси. Выявили, что минимум совокупных затрат энергии при уборке кукурузы в початках (1005,3 МДж/т) обеспечивает технология с использованием самоходного пиккер-хескера. Показали, что для уборки кукурузы с обмолотом початков в поле (724,4 МДж/т) рациональная технология включает уборку комбайном с аксиально-роторным молотильно-сепарирующим устройством на базе новых конструктивно-технологических решений. Выявили наиболее эффективную технологию при уборке кукурузы – с использованием на корм зерностержневой смеси (638,5 МДж/т). Разработали структурную схему и математическую модель оптимизации параметров и режимов работы технических средств. Установили, что в результате оптимизации модернизация кукурузоуборочного агрегата обеспечила снижение энергозатрат с 260,4 до 228,2 МДж/т, или на 12,4 процента; повышение производительности комбайна – с 3,4 до 4,6 га/ч, или в 1,4 раза, пропускной способности – с 12,3 до 14,7 кг/с, или в 1,2 раза. Определили оптимальные параметры агрегата: ширина захвата жатки составила 8,4 м, рабочая скорость движения – 6,6 км/ч, масса комбайна – 18180 кг, мощность двигателя – 224,8 кВт, оптимальные сроки уборки кукурузы на зерно – 8 дней.

Ключевые слова: технологии уборки кукурузы, кукурузоуборочные машины, ресурсосбережение.

Кукуруза – важная продовольственная и кормовая культура. Потребность России в кукурузном зерне составляет более 10 млн т, в то время как его валовой сбор находится на уровне 2-3 млн т при средней урожайности 3,3 т/га, что в 1,5-2 раза ниже, чем в европейских странах.

Для увеличения объема производства кукурузы необходимо повысить ее урожайность и снизить потери на всех этапах уборочного цикла.

Цель исследования – разработка современных

высокоэффективных, ресурсосберегающих технологий и технических средств уборки и послеуборочной обработки кукурузы в едином комплексе [1-4].

Материалы и методы. Обобщение известных технологий уборки кукурузы как в России, так и за рубежом позволило разработать структуру технологических схем уборки кукурузы на зерно [5-8].

Рассмотрим алгоритм оптимизации параметров, режимов работы машин уборочно-транспортного звена (УТЗ) и обоснование выбора рационального

комплекса машин для уборки кукурузы, транспортировки, послеуборочной обработки и хранения зерна. На *рисунке 1* представлена структурная схема иерархии решения поставленных задач.

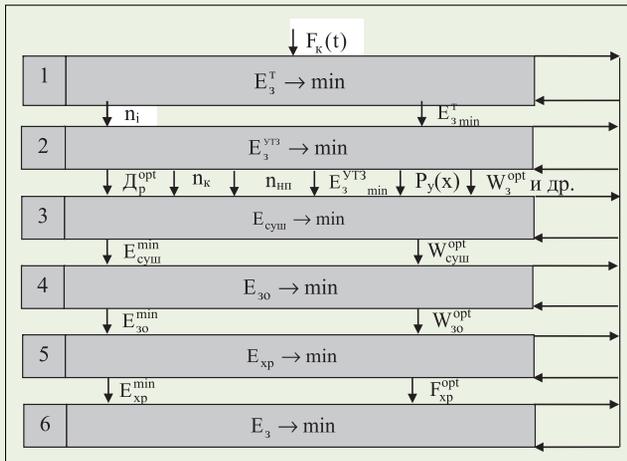


Рис. 1. Структурная схема иерархии задач оптимизации процессов уборки, транспортировки, послеуборочной обработки и хранения зерна кукурузы

На **первом** уровне решают задачу выбора наиболее эффективной ресурсосберегающей технологии уборки кукурузы с учетом природно-производственных условий. В качестве исходной информации на этом этапе учитывают почвенно-климатические условия, сорта и гибриды кукурузы, различные варианты технологий, соответствующие уборочные и транспортные средства, сушильные комплексы, зерноочистительные машины, складские помещения для хранения урожая. Все перечисленные факторы обобщенно представлены на структурной схеме значением $F_k(t)$. В качестве критерия эффективности на этом и на всех последующих этапах принят минимум совокупных затрат энергии на выполнение всех производственных процессов заготовки кукурузы. Основным результатом исследования на первом уровне схемы станут возможные варианты n_i наиболее эффективных технологий уборки кукурузы, характеризующиеся минимальным значением совокупных затрат энергии E_3^T .

Второй уровень оптимизации связан с моделированием УТЗ для уборки кукурузы с учетом зональных факторов. Выходы из второй подсистемы: D_p^{opt} – оптимальная продолжительность уборки кукурузы на зерно; W_3^{opt} – оптимальная производительность УТЗ; $P_y(x)$ – обобщенное обозначение оптимальных параметров технических средств УТЗ; $E_{мин}^{YT3}$ – минимальное значение критерия оптимизации и др. В качестве оптимальных параметров технических средств определяют: мощность двигателя комбайна N_e^k и трактора N_e^{mp} , агрегируе-

мого с накопителем-перегрузчиком зерна; рабочую ширину захвата жатки B_p ; рабочую скорость V_p движения комбайна; емкость бункера $V_б$ комбайна; емкость $V_{ин}$ накопителя-перегрузчика; массу комбайна G_k , трактора G_{mp} и накопителя-перегрузчика $G_{ин}$; потребное количество n_k комбайнов, накопителей-перегрузчиков $n_{ин}$, их производительность; оптимальную уборочную площадь F_{opt} и др.

На **третьем** уровне с учетом поступающей от УТЗ массы зерна W_3^{opt} выбирают оптимальные параметры сушильного агрегата. В качестве критерия оптимизации используется минимум совокупных затрат энергии $E_{суш}^{min}$. Основным результатом исследований, кроме $E_{суш}^{min}$, является также оптимальная производительность сушилки $W_{суш}^{opt}$.

На **четвертом** уровне системы обосновывают оптимальные параметры зерноочистительного комплекса по тому же критерию оптимизации. Основным результатом исследований на данном уровне – оптимальная производительность $W_{зо}^{opt}$ зерноочистительного комплекса и минимальное значение затрат совокупной энергии на выполнение производственного процесса.

На **пятом** уровне системы оптимизируют площадь F_{xp} складского помещения (хранилища зерна) в зависимости от количества поступающего зерна. Критерий оптимизации – минимум совокупных затрат энергии E_{xp}^{min} на хранение зерна.

На **шестом**, заключительном, уровне оптимизируют удельные совокупные затраты энергии E_3 на выполнение всех производственных процессов уборки, транспортировки, сушки, очистки и хранения зерна, то есть всех взаимосвязанных работ уборочного комплекса.

На *рисунке 2* показана взаимосвязь элементов технологий уборки кукурузы.

Результаты и обсуждение. Применительно к выбранным ресурсосберегающим технологиям уборки кукурузы (1-й уровень структурной схемы) выполняют последующие исследования. На втором уровне решают задачу оптимизации параметров и режимов работы УТЗ, в состав которого входит зерноуборочный комбайн для обмолота початков, измельчения и разбрасывания незерновой части урожая, накопитель-перегрузчик с трактором для перевозки зерна от комбайна на ток или к большегрузному транспортному прицепу, который доставляет урожай для послеуборочной обработки.

Для решения оптимизационной задачи была разработана математическая модель, увязывающая производственно-технологические условия, конструктивные параметры, режимы работы машины, которые представлены в виде переменных, констант, коэффициентов, систем неравенств и уравнений и объединены целевой функцией E_3 – мини-

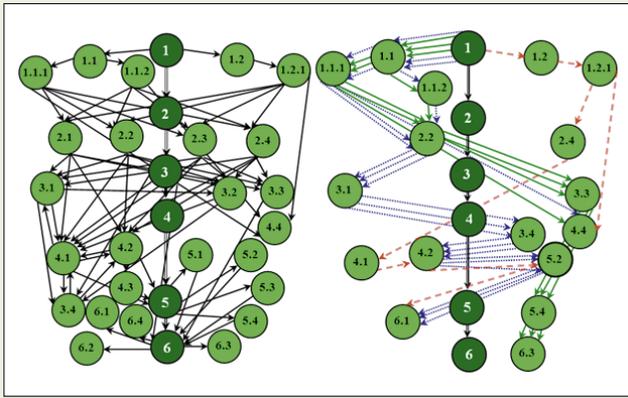


Рис. 2. Структура технологических схем уборки кукурузы на зерно:

1 – уборка кукурузы; 1.1 – уборка в початках; 1.2 – уборка с обмолотом початков; 1.1.1 – самоходные машины; 1.1.2 – прицепные машины; 1.2.1 – жатки; 2 – транспортировка на стационар; 2.1 – прицепы тракторные и автомобильные; 2.2 – автомобили; 2.3 – большегрузные транспортные прицепы; 2.4 – накопители-перегрузчики; 3 – обработка початков; 3.1 – очистители початков; 3.2 – сортировщики початков; 3.3 – измельчение початков; 3.4 – обмолот початков; 4 – обработка урожая; 4.1 – зерносушилки; 4.2 – очистка зерна, калибрование; 4.3 – упаковка готовой продукции; 4.4 – измельчение стеблей; 5 – транспортировка на хранение; 5.1 – прицепы тракторные; 5.2 – автомобили; 5.3 – большегрузные транспортные прицепы; 5.4 – накопители-перегрузчики; 6 – хранение; 6.1 – металлические хранилища; 6.2 – бурты; 6.3 – хранилища из полимерных рукавов; 6.4 – траншеи;

сравниваемые технологии:

- ▶ – в початках;
- ▶ – с обмолотом;
- ▶ – на зерностерженную смесь

мизацией затрат совокупной энергии на выполнение производственных процессов уборки и транспортировки зерна кукурузы в составе УТЗ:

$$E_3 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^y \sum_{k=1}^k \left(\frac{E_{ijk}}{W_{ijk}} + \eta_{\text{Э}} \cdot q_{mijk} \right) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где E_{ijk} – i -я составляющая совокупных затрат энергии j -го агрегата на k -той сельскохозяйственной работе, МДж/ч;

W_{jk} – производительность j -го агрегата на k -ой сельскохозяйственной работе за 1 ч сменного времени, т/ч;

$\eta_{\text{Э}}$ – энергетический эквивалент дизельного топлива, МДж/кг;

$q_{T_{jk}}$ – удельный расход топлива при выполнении k -той работы j -ым агрегатом, кг/т.

При этом необходимо соблюдать следующие три условия:

1) гарантия выполнения всего заданного объема k -х работ F_k в заданные агросроки D_p :

$$F_k \leq \sum_{j=1}^y \sum_{k=1}^k W_{jk} \cdot 12 \cdot D_p; \quad (2)$$

2) одновременная перевозка накопителем-перегрузчиком всего убранного урожая:

$$W_{jk} \cdot n_k = W_{nnjk} \cdot n_{nn}; \quad (3)$$

где n_k – количество кукурузоуборочных агрегатов, шт.;

n_{nn} – количество накопителей-перегрузчиков, шт.;

W_{nn} – производительность накопителя-перегрузчика, т/ч.

3) условие неотрицательности переменных:

$$j > 0; k > 0; n_k > 0; n_{nn} > 0; T_{cm} > 0; F_k > 0; D_p > 0. \quad (4)$$

Задача имеет ограничения по пропускной способности молотилки комбайна q (кг/с):

$$2 \leq q \leq 30. \quad (5)$$

В свою очередь,

$$q \leq \frac{B_p V_p U (1 + \delta_c)}{36}, \quad (6)$$

где B_p – рабочая ширина захвата жатки комбайна, м (принят интервал 4,2-12,6 м);

V_p – рабочая скорость движения комбайна, км/ч (принят интервал 4-18 км/ч);

U – урожайность зерна кукурузы, т/га (интервал 4-10 т/га);

δ_c – соломистость убираемого урожая.

Разработана блок-схема алгоритма оптимизации параметров и режимов работы УТЗ по критерию минимальных совокупных затрат энергии, которая позволила обосновать оптимальную продолжительность уборки кукурузы, оптимальные параметры и режимы работы зерноуборочного комбайна, накопителя-перегрузчика зерна и агрегируемого с ним трактора.

Для уточнения целевой функции E_3 математической модели для варианта расчетов на основе новых способов уборки и конструктивно-технологических решений выполнены теоретические и экспериментальные исследования, а также изучены биометрические показатели и физико-механические свойства растений кукурузы [9-10].

Целевая функция E_3 математической модели для варианта расчетов с учетом уточненных зависимостей, полученных на основе экспериментальных исследований функционирования разработанных нами устройств и предложенного способа декаптации растений, имеет вид:

$$\begin{aligned}
 E_3 = & \frac{0,0016(G_K + 365V_G)V_P + 18,3 \cdot q}{W'_K} + \\
 & + 1,26 \left(\frac{n_K}{W'_K} + \frac{n_{HN}}{W_{HN}} \right) + \frac{0,087 \cdot G_K}{W'_K} + \\
 & + \frac{0,035 \cdot G_{HN} + 0,022 \cdot G_{MP}^{HN}}{W_{HN}} + \\
 & + \frac{0,021(G_{MP}^{HN} + G_{HN} + 730V_{HN})}{V_{HN}} + 0,015 \cdot N_e^{MP} + \\
 & + \frac{9,2 \cdot N_e^k}{W'_K} + 46,97 \rightarrow \min.
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Определены оптимальные варианты технологий и технических средств для уборки и послеуборочной обработки кукурузы.

Минимум совокупных затрат энергии при уборке кукурузы в початках (1005,3 МДж/т) обеспечивает технология с использованием самоходного пиккер-хескера, накопителя-перегрузчика, автомобиля ЗИЛ-ММЗ-554 для транспортировки початков, ОП-15С для их очистки, МКП-3 для обмолота, ПСОК-200 для очистки и сушки зерна, ЗИЛ-ММЗ-554 для его транспортировки и хранения в МС-50. Стеб-

ли после пиккер-хескера измельчаются ВР-600 в агрегате с трактором Т-150К.

Рациональная технология уборки кукурузы с обмолотом початков в поле (минимум затрат совокупной энергии 724,4 МДж/т) включает уборку комбайном с аксиально-роторным МСУ на базе улучшенных предложенных конструктивно-технологических решений, транспортировку зерна на ток накопителем-перегрузчиком Т-740 в агрегате с трактором Т-150К, сушку и очистку зерна ПСОК-200, транспортировку на хранение ЗИЛ-ММЗ-554 и хранение в МС-50.

Однако наиболее эффективна технология с использованием на корм зерностержневой смеси. Затраты совокупной энергии составляют 638,5 МДж/т. Уборка початков осуществляется самоходным пиккер-хескером с прицепом, транспортировка початков на ток – ЗИЛ-ММЗ-554, приготовление корнажа – на поточно-технологической линии (ИРМ-50 + ТС-40М + ПЗМ-1,5), транспортировка смеси – накопителем-перегрузчиком Т-740 с трактором Т-150К к ЗПМ-180 и закладка на хранение – в полимерные рукава. Стебли кукурузы после отрыва початков измельчаются на поле ВР-600 в агрегате с трактором Т-150К.

Моделирование и оптимизация производственных процессов уборки кукурузы выполнены нами по специально разработанной программе для различного диапазона условий работы УТЗ.

В результате обоснованы оптимальные параметры и режимы работы всех машин УТЗ. Расчеты выполнены для двух уборочных агрегатов: серийного роторного зерноуборочного комбайна с кукурузоуборочной жаткой и модернизированного кукурузоуборочного агрегата с нашими конструктивно-технологическими решениями. В состав УТЗ входил кукурузоуборочный агрегат и накопитель-перегрузчик зерна, агрегатируемый с колесным трактором.

В результате выполненных расчетов мы уста-

Таблица 2

ОПТИМАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ КУКУРУЗОУБОРОЧНЫХ АГРЕГАТОВ

Показатели	Варианты агрегатов	
	серийный	модернизированный
Критерий оптимизации E_3 , МДж/т	260,4	228,2
Продолжительность уборки кукурузы D_p , дней	9	8
Урожайность U , т/га	6	6
Уборочная площадь F , га	5000	5000
Длина гона L_p , км	1,5	1,5
Мощность двигателя комбайна N_e^k , кВт	180,5	224,8
Емкость бункера для зерна V_6 , м ³	9,1	9,7
Ширина захвата жатки V_p , м	8,4	8,4
Рабочая скорость движения агрегата V_p , км/ч	4,9	6,6
Пропускная способность молотилки комбайна q , кг/с	12,3	14,7
Производительность агрегата: W'_k , га/ч W'_k , т/ч	3,4 20,4	4,6 27,5
Масса комбайна G_K , кг	17080	18180
Потребное количество комбайнов n_K , ед.	15	13
Потребное количество накопителей-перегрузчиков n_{HN} , ед.	6	5
Емкость накопителя-перегрузчика V_{HN} , м ³	48	48
Масса накопителя-перегрузчика G_{HN} , кг	7299	7299
Масса трактора для накопителя-перегрузчика G_{TP} , кг	5725	5725
Мощность двигателя трактора для накопителя-перегрузчика N_e^{TP} , кВт	103	103

новили минимальное значение критерия оптимизации для двух вариантов расчетов (таблица), по которым обоснованы оптимальные параметры.

Использование предложенного нами нового парка кукурузоуборочных машин по сравнению с базовым снижает количество уборочной техники на 15-44%. При этом экономия капиталовложений составляет минимум 1,3 млрд рублей.

Выводы. В результате исследований предложена концепция многоуровневого системного подхода к взаимоувязанному функционированию всех подсистем производственных процессов заготов-

ки кукурузы (от уборки до переработки урожая и его хранения) по критерию ресурсосбережения.

В результате оптимизации модернизация кукурузоуборочного агрегата обеспечила снижение энергозатрат с 260,4 до 228,2 МДж/т, или на 12,4%; повышение производительности комбайна – с 3,4 до 4,6 га/ч, или в 1,4 раза, пропускной способности – с 12,3 до 14,7 кг/с, или в 1,2 раза. Оптимальная ширина захвата жатки составила 8,4 м, рабочая скорость движения – 6,6 км/ч, масса комбайна – 18180 кг, мощность двигателя – 224,8 кВт, оптимальные сроки уборки кукурузы на зерно – 8 дней.

Литература

1. Измайлов А.Ю. О машинно-технологическом обеспечении интеллектуального сельскохозяйственного производства // *Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий: Сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф.* – М.: ВИМ, 2014. – С. 12-16.

2. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Перспективные пути применения энерго- и экологически эффективных машинных технологий и технических средств // *Сельскохозяйственные машины и технологии.* – 2013. – № 4. – С. 8-11.

3. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Система машин для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства на период до 2020 года // *Сельскохозяйственные машины и технологии.* – 2013. – № 6. – С. 6-10.

4. Труфляк Е.В. Ресурсосберегающие процессы уборки кукурузы на основе новых конструктивно-технологических решений: *Дисс... д-ра техн. наук.* – Краснодар, 2011.

5. Труфляк Е.В. *Параметры процесса декапитации стеблей кукурузы и отделения початков*

стрепперным аппаратом: Дисс. канд. техн. наук. – Краснодар, 2003.

6. Труфляк Е.В. *Механико-технологическое обоснование повышения производительности кукурузоуборочных машин: Монография.* – Краснодар: КубГАУ, 2009. – 501 с.

7. Труфляк Е.В., Кравченко В.С. *Теоретические аспекты повреждения зерна початков кукурузы // Техника в сельском хозяйстве, 2007.* – № 6. – С. 32-34.

8. Трубилин Е.И. Труфляк Е.В., Кравченко В.С. *Початкоотделяющие аппараты кукурузоуборочной жатки с повышенной способностью очищения // Техника и оборудование для села.* – 2008. – № 2. – С. 15-17.

9. Труфляк Е.В., Кравченко В.С. *Модель механического повреждения початка // Труды Кубанского государственного аграрного университета.* – Краснодар: КубГАУ, 2008. – № 3. – С. 190-195.

10. Труфляк Е.В. *Уборка кукурузы с одновременным удалением верхушечной части стебля // Техника в сельском хозяйстве.* – 2009. – № 4. – С. 38-40.

OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF RESOURCE-SAVING MACHINE TECHNOLOGIES AND OPERATING MODES OF CORN HARVESTERS

Ya.P. Lobachevsky¹, E.I. Trubilin², E.V. Truflyak²

¹All-Russia Research Institute of Mechanization for Agriculture, 1st Institutskiy proezd, Moscow, 109428, Russian Federation

²Kuban State Agrarian University, Kalinin St., 13, Krasnodar, Russian Federation, e-mail: trubilinei@mail.ru

Russian agrarian can increase corn production and not depend on import if they get more yield and reduce losses at all stages of a harvest cycle. A unified complex of modern highly effective, resource-saving technologies and technical means of harvesting and postharvest processing of corn is for this purpose necessary. The authors offered a concept of multilevel system approach to interconnected functioning of all subsystems of corn production (from harvesting to crop processing and storage) by criterion of resource-saving. Resource-saving technologies of harvesting of ear corn with thresh in a field and with getting of corn and corn cob mix. The minimum of cumulative expenses of energy when harvesting ear corn (1005.3 megajoule per tonne) is provided by technology with use of a self-

propelled picker-husker. For harvesting with ear corn thresh in the field the rational technology (724.4 megajoule per tonne) includes harvesting by the combine with an axial and rotor threshing mechanism on the basis of new constructive and technological decisions. The most effective technology is corn harvesting with use on a forage corn and corn cob mix (638.5 megajoule per tonne). The authors developed a block scheme and mathematical model of optimization of parameters and operating modes of technical means. As a result of optimization modernization of the corn harvester provided decrease in energy consumption from 260.4 to 228.2 megajoule per tonne, or by 12.4 percent; increase of combine capacity from 3.4 to 4.6 ha/h, or by 1.4 times, improvement of grain output *акцъ* 12.3 to 14.7 kg/s, or by 1.2 times. Optimum parameters of the unit: width of capture of a harvester made 8.4 m, the working speed of the movement – 6,6 km/h, the mass of the combine – 18180 kg, engine capacity – 224.8 kW, optimum terms of harvesting of grain corn – 8 days.

Keywords: Technologies of corn harvesting; Corn harvester; Resource-saving.

References

1. Izmaylov A.Yu. *O mashinno-tekhnologicheskoy obespechenii intellektual'nogo sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva [About machine technological support of intellectual agricultural production]. Innovatsionnoye razvitiye APK Rossii na baze intellektual'nykh mashinnykh tekhnologiy: Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Moscow: VIM, 2014. pp. 12-16 (Russian).*
2. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. *Perspektivnye puti primeneniya energo- i ekologicheskikh effektivnykh mashinnykh tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv [Perspective ways of use of power and ecologically effective machine technologies and technical means]. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2013. No. 4. pp. 8-11 (Russian).*
3. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. *Sistema mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii i avtomatizatsii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na period do 2020 goda [System of machinery and technologies for integrated mechanization and automation of agricultural production for the period till 2020]. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2013. No. 6. pp. 6-10 (Russian).*
4. Truflyak E.V. *Resursosberegayushchie protsessy uborki kukuruzy na osnove novykh konstruktivno-tekhnologicheskikh resheniy [Resource-saving processes of corn harvesting based on new constructive and technological decisions]: Diss... d-ra tekhn. nauk. Krasnodar, 2011 (Russian).*
5. Truflyak E.V. *Parametry protsessa dekapitatsii stebly kukuruzy i otdeleniya pochatkov streppernym apparatom [Parameters of process of a dekapitation of corn stalks and ears picking by strepper]: Dis. kand. tekhn. nauk. Krasnodar, 2003 (Russian).*
6. Truflyak E.V. *Mekhaniko-tekhnologicheskoye obosnovaniye povysheniya proizvoditel'nosti kukuruzoborochnykh mashin [Mechanical technological justification of increase of corn harvesters capacity]: Monografiya. Krasnodar: KubGAU, 2009. 501 pp. (Russian).*
7. Truflyak E.V., Kravchenko V.S. *Teoreticheskiye aspekty povrezhdeniya zerna pochatkov kukuruzy [Theoretical aspects of corn damage in ears]. Tekhnika v sel'skom khozyaystve, 2007. No. 6. pp. 32-34 (Russian).*
8. Trubilin E.I., Truflyak E.V., Kravchenko V.S. *Pochatkoobdelnyye apparaty kukuruzoborochnoy zhatki s povyshennoy sposobnost'yu ochishcheniya [Ear separating mechanisms of corn harvesting reaper with increased ability of shelling]. Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. 2008. No. 2. pp. 15-17 (Russian).*
9. Truflyak E.V., Kravchenko V.S. *Model' mekhanicheskogo povrezhdeniya pochatka [Model of mechanical damage of ear]. Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. Krasnodar: KubGAU, 2008. No. 3. pp. 190-195 (Russian).*
10. Truflyak E.V. *Uborka kukuruzy s odnovremennym udaleniye verkhushhechnoy chasti steblya [Harvesting of corn with simultaneous removal of top part of stalk]. Tekhnika v sel'skom khozyaystve. 2009. No. 4. pp. 38-40 (Russian).*



УДК 631.3.022



ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МАТЕРИАЛОПРОВОДА ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ БАРАБАННОГО ТИПА

ЗЕНИКОВ В.И.,
канд. техн. наук

Донской государственный аграрный университет, п. Персиановский, Октябрьский район, Ростовская область, 346493,
Российская Федерация, e-mail: ilios-astro@bk.ru

На кормоуборочных и соломоуборочных агрегатах для транспортирования массы из измельчающего аппарата применяют материалопроводы различных конструкций. Транспортирование осуществляется вследствие действия центробежных сил измельчающего барабана и создаваемого им воздушного потока. При этом на пути от материалопровода до транспортного средства потери измельченной массы достигают 15 процентов от общей массы соломы. Установили, что основная причина указанных потерь – выдувание частиц массы из потока, летящего в воздухе. Разработали новую конструкцию жалюзийного устройства на материалопроводе для снижения интенсивности воздушного потока. Выявили возможность сокращения потерь путем теоретического анализа и физического моделирования процесса движения воздушного потока. Установили, что в материалопроводе создается квазигомогенная среда, состоящая из измельченной соломы и воздуха, с осредненными по времени и по сечению канала плотностью и давлением. Для решения задачи снижения интенсивности воздушного потока использовали уравнения неразрывности и импульсов с учетом изменения массового расхода среды или ее плотности и скорости, которое обусловлено сепарацией чистого воздуха. Испытания разработанного материалопровода показали, что потери измельченной соломы сократились на 40 процентов, при этом установленный на конце материалопровода фартук снизил потери на 9 процентов.

Ключевые слова: солома, материалопровод, физическое моделирование, сепарация воздуха, двухфазный поток.

Судя по валовому урожаю в стране, сбор соломы в 2014 г. достиг 150 млн т [1-3]. Часть соломы в измельченном виде целесообразно использовать в животноводстве для аэробной переработки навоза или помета, так как в этом случае многократно повышается поверхность взаимодействия частиц соломы и микробиологического сообщества смеси с навозом, пометом.

Цель исследований – разработка и испытание материалопровода кормоуборочного комбайна с целью уменьшения потерь измельченной массы при транспортировании ее из измельчающего аппарата.

Материалы и методы. На основании анализа

работы существующих измельчителей для встраивания в технологическую схему аэробной ферментации был выбран стационарный вариант измельчения соломы на базе узлов кормоуборочного комбайна КСК-100.

Приняв в качестве прототипов кормораздатчик КТУ-10 и жатку зерноуборочного комбайна, разработали приемную часть измельчителя (рис. 1).

Ширина приемного устройства – 2,7 м, длина подающего транспортера – 1 м. За барабанным механизмом установлен сужающий шнек, подающий солоmistую массу в стационарное измельчающее устройство кормоуборочного комбайна КСК-100

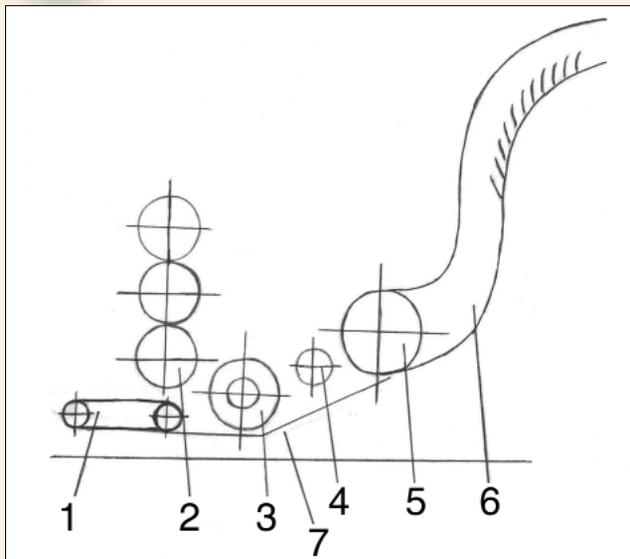


Рис. 1. Технологическая схема измельчения соломы: 1 – транспортер; 2 – барабанный механизм КТУ-10; 3 – сужающий шнек; 4 – приемный битер (КСК-100); 5 – измельчающий барабан; 6 – материалопровод; 7 – корпус жатки

производительностью до 10,8 т/ч.

Неизмельченная рассыпная солома подается погрузчиком из комплекта машин по аэробной переработке (МПСУ-500) на транспортер и барабанный механизм КТУ-10 (2) и далее – на шнек (рис. 1). Приемный битер направляет массу в измельчающий барабан. Измельченная масса под воздействием центробежных сил и воздушного потока барабана транспортируется по материалопроводу в смеситель. При этом до 15% измельченной соломы попадает за пределы смесителя.

Общий вид стационарной установки на комбайне КСК-100 показан на рисунке 2.



Рис. 2. Внешний вид измельчителя соломы

С целью снижения непроизводительных потерь на конце материалопровода был установлен фартук [4]. Он позволил снизить величину потерь до 9%. Для дальнейшего снижения интенсивности воздушного потока совместно с ЦАГИ им. Н.Е. Жу-

ковского проведена научно-исследовательская и опытно-конструкторская работа по созданию нового типа материалопровода.

Результаты и обсуждение. В материалопроводе создается квазигомогенная среда, состоящая из измельченной соломы растительной массы (РМ) и воздуха, с осредненными по времени и по сечению канала плотностью и давлением, равным давлению содержащегося воздуха.

Для решения задачи снижения интенсивности воздушного потока используются уравнения неразрывности и импульсов с учетом изменения массового расхода среды или ее плотности и скорости, вследствие сепарации чистого воздуха.

Расчетная схема жалюзийного сепаратора приведена на рисунке 3.

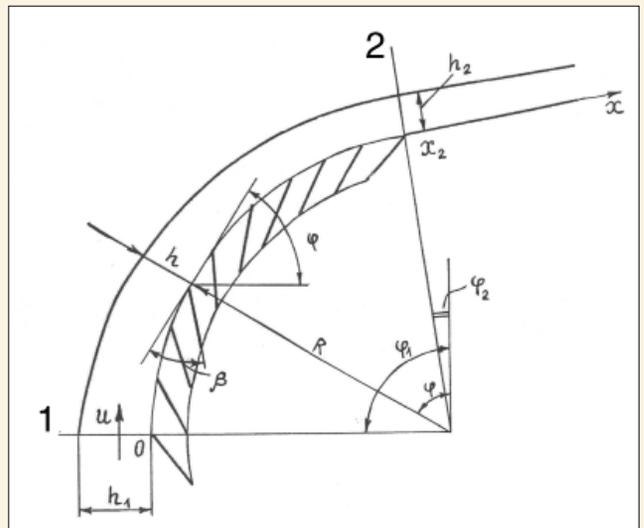


Рис. 3. Расчетная схема жалюзийного сепаратора

Между сечениями 1 и 2 целесообразно разместить сепаратор инерционного типа.

В соответствии с поставленной задачей определяем четыре неизвестные функции от продольной координаты x : $h(x)$ – высоту канала, $g(x)$ – плотность среды, $u(x)$ – ее скорость и $p(x)$ – давление.

На стенках канала к потоку приложены обобщающие силы трения $g(x)$. При выборе инерционного сепаратора в качестве объекта расчета было отдано предпочтение жалюзийной решетке как наиболее простой. На решетке заданы поперечная скорость $v(x)$ или плотность тока сепарируемого воздуха $g_g v(x)$. В начальном сечении 1 задаются высота канала h_1 и внешние параметры: массовые расходы воздуха (G_{g0}) и РМ (G_{s0}) и их начальные скорости u_{g0} и u_{s0} . Плотность воздуха $g_g = const$ и РМ $g_s = const$ также известны.

Начальные значения скорости и плотности квазигомогенной среды определяем из конечных соотношений расхода и импульса:



$$u_1 = \frac{G_{go}u_{go} + G_{so}u_{so}}{G_{go} + G_{so}} = \frac{1+iW}{1+i}u_{go} \quad (1)$$

$$g_1 = \frac{G_{go} + G_{so}}{u_1 h_1} = G_{go} \frac{1+i}{u_1 h_1}, \quad (2)$$

где $i = G_{so}/G_{go}$ – относительный массовый расход *PM*,

$W = u_{so}/u_{go}$ – относительная скорость *PM*.

Избыточное давление среды в канале $P - P_H = f(x)$, (где P_H – наружное давление) определяется в результате решения задачи при условии, что даже в конечном сечении 2 это давление будет достаточным, чтобы обеспечить необходимую сепарацию воздуха.

К числу существенных параметров двухфазной среды относится ее пористость ε , а также соотношение доли площади поперечного сечения канала, занятого воздухом, к оставшейся площади сечения, занятой *PM*:

$$\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} = \frac{G_g}{G_s} \frac{g_s u_s}{g_g u_g}. \quad (3)$$

В начальном сечении $x = 0$:

$$\varepsilon = \frac{1}{1 + \frac{i}{(g_g/g_s)W}}. \quad (4)$$

В конечном сечении сепаратора при $x_2 = L$ величину пористости можно оценить весьма приближенно, исходя из некоторой схемы плотной упаковки *PM*.

Для оценки влияния обобщенных сил трения используем закон трения в виде:

$$\tau = C \frac{g u^2}{2},$$

где эмпирическая постоянная $C=0,01-0,05$.

Для принятой квазигомогенной модели двухфазной среды в канале при наличии сепарации (отсосе) воздуха вдоль криволинейной оси x уравнения движения имеют следующий вид.

Уравнение неразрывности:

$$\frac{d}{dx}(g u h) = g_g v = g_g u \frac{dh}{dx}. \quad (5)$$

Уравнение импульсов представлено в виде:

$$\begin{aligned} \frac{d}{dx}(g_g u^2 h) + g_g u \sin \varphi + \tau P + h \frac{dp}{dx} = \\ = g_g v u = g_g u^2 \frac{dh}{dx}, \end{aligned} \quad (6)$$

где $g = 9,81$ м/с² – ускорение силы тяжести,

φ – угол отклонения канала,

P – относительный периметр канала,

τ – касательное напряжение на стенках канала.

В правой части обоих уравнений второе равенство соответствует предположению об одномерности течения и малом угле наклона стенок канала:

$$\frac{v}{u} = \frac{dh}{dx} = \alpha \ll 1. \quad (7)$$

Для густой жалюзийной решетки безразмерный перепад давлений воздуха на решетке выражается в следующем виде:

$$\frac{P - P_H}{g_g \frac{u^2}{2}} = 2 \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \left[\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} + \cos(\alpha + \beta) \right]. \quad (8)$$

Условие сепарации, равномерной по длине L , – постоянная скорость:

$$v = u \frac{dh}{dx} = const,$$

причем значение константы определяется коэффициентом сепарации γ :

$$g_g v L = \gamma G_{go} = \gamma g_{go} = \gamma g_g u_{go} \varepsilon_1 h_1 \quad (9)$$

или

$$\frac{v}{u_{go}} = A, \quad \text{где } A = \gamma \varepsilon_1 h_1 / L.$$

Тогда уравнение контура канала запишем в виде:

$$\frac{dh}{dx} = \frac{A}{u}. \quad (10)$$

Соотношение между давлением и скоростью выражено следующим образом:

$$\frac{P - P_H}{g_g u^2} = \frac{A}{\operatorname{tg} \beta} \frac{1}{u}. \quad (11)$$

Таким образом, двухфазный поток описывается тремя дифференциальными уравнениями первого порядка относительно параметров h, u, g (5), (6), (10) и соотношением (11) относительно избыточного давления ($P - P_H$).

Начальные значения для дифференциальных уравнений h_1, u_1, g_1 задаются при $x = 0$. Параметры A, β, τ , входящие в уравнения движения, также следует считать известными. Следовательно, задача является замкнутой.

Экспериментальные исследования проводили на физической модели (рис. 4).

После построения тарировочных графиков были получены зависимости (рис. 5-7).

На основании исследований на физической модели по чертежу был изготовлен новый материалопровод и установлен совместно с приемной частью на комбайне КСК-100.

Выводы. В разработанной конструкции материалопровода по результатам исследований на физи-

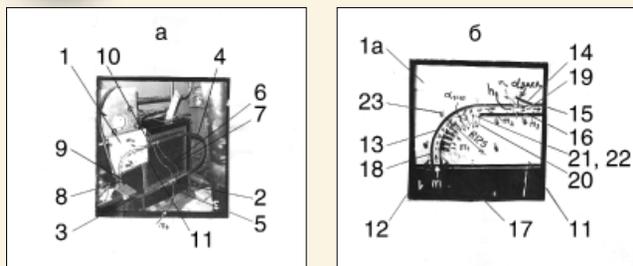


Рис. 4. Общий вид МВС, установленной на струйном стенде: 1 – головка воздушного сепаратора (ВС); 1а – основание ВС; 2 – дозвуковой эжектор; 3 и 4 – входной и выходной резиновые шланги; 5 – шланг, по которому подводится сжатый воздух; 6-8 – штуцера; 9, 10 – переходники с фланцевыми соединениями; 11 – прозрачная крышка из оргстекла; 12-17 – проставки; 18, 19 – оси-шпильки; 20 – створки; 21 – оси-стойки; 22 – зажимные гайки; 23 – стяжные болты

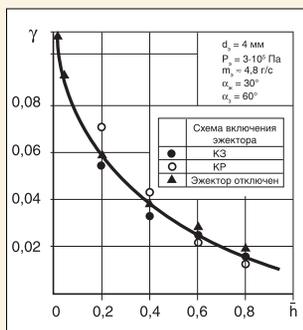


Рис. 5. Изменение коэффициента сепарации

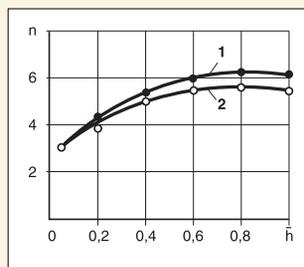


Рис. 6. Зависимость n от h

ческой модели определены параметры инерционного жалюзийного сепаратора. Пластины сепаратора установлены с шагом

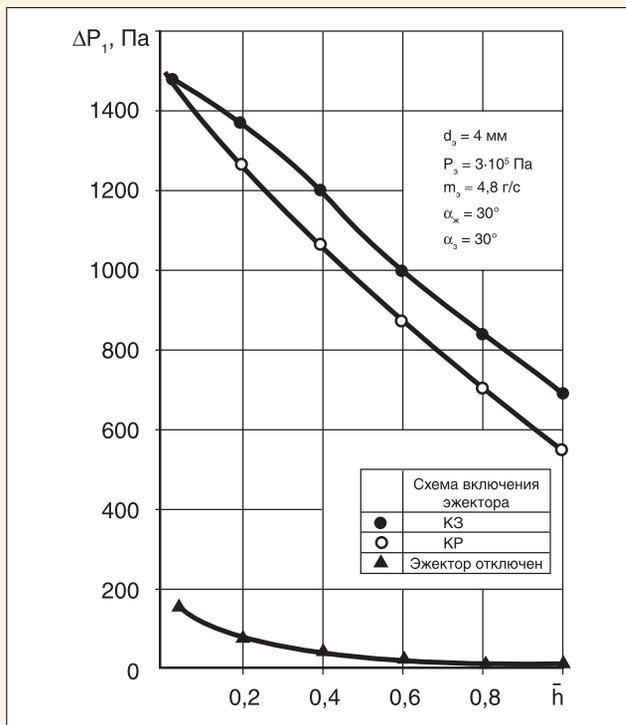


Рис. 7. Зависимость ΔP_1 от \bar{h}

125 мм, образующая их вершин – криволинейная поверхность, угол установки пластин – 20°, 25° и 30° к касательной этой поверхности. Сепаратор с пластинами, образующий решетку, одним концом закреплен на оси, вокруг которой возможны поворот всего сепаратора и, как следствие, изменение диффузорности канала материалопровода. Установлено снижение потерь измельченной соломы на 40%.

Литература

1. Федеральная служба государственной статистики. Российский статистический ежегодник. 2014 г.

2. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Управление и информационное обеспечение инновационными технологическими процессами в растениеводстве // Автоматизация и информационное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве: Сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. Ч. 1. – М.: ВИМ, 2010. – С. 47-58.

3. Лобачевский Я.П., Мазитов Н.К., Саханов Р.Л., Шарафиев Л.З., Садриев Ф.М., Салахов А.Ф., Дмитриев С.Ю., Рахимов З.С. В.П. Горячкин – выдающийся ученый, педагог (145-летию со дня рождения посвящается) // Система технологий и машин для инновационного развития АПК: Сб. науч. докл. Междунар. науч.-техн. конф. – М.: ВИМ. 2013. – С. 50-54.

4. А.С. 1291112 СССР; Устройство для внесения консервантов корма / Зеников В.И. // Бюл., 1988. – № 7.

RESEARCH AND DEVELOPMENT OF MATERIAL FEEDER OF DRUM TYPE SHREDDER

V.I. Zenikov, Don State Agrarian University, set. Persianovskiy, Oktabr'skiy district, Rostov region, 346493, Russian Federation, e-mail: ilios-astro@bk.ru

Fodder and straw harvesting units are equipped with material feeder of various designs which are applied for mass transportation from shredder. Transportation is carried out owing to action of centrifugal forces of the crushing drum and the air stream created by it. Thus, loss of the shredded mass on the way from a material feeder to the

vehicle reach 15 percent. The main reason for the specified losses is blowing of mass particles from the air stream. A lower attachment of a new design decreases air stream intensity. The authors revealed possibility of losses reduction by the theoretical analysis and physical modeling of process of the air stream movement. Quasi-homogeneous substance inside a material feeder consists of the shredded straw and air which have density and pressure average on time and on canal section. To decrease air stream intensity the authors used the continuity and momentum equations. Thus, change of a substance mass expense or its density and speed was considered. This change was caused by separation of clean air. Tests of the developed material feeder showed that losses of the shredded straw were reduced by 40 percent. Thus a lower baffle fitted to the end of a material feeder decreased losses by 9 percent.

Keywords: Fodder harvesting unit; Straw harvesting unit; Material feeder; Physical modeling; Air separation; Two-phase stream.

References

1. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki. Rossiyskiy statisticheskiy ezhegodnik [Russian statistical year-book]. 2014 (Russian).

2. Izmaylov A. Yu., Lobachevskiy Ya. P. Upravlenie i informatsionnoe obespechenie innovatsionnymi tekhnologicheskimi protsessami v rastenievodstve [Management and information support by innovative technological processes in plant industry]. Avtomatizatsiya i informatsionnoe obespechenie proizvodstvennykh protsessov v sel'skom khozyaystve: Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Ch. 1. Moscow: VIM, 2010. pp. 47-58 (Russian).

3. Lobachevskiy Ya. P., Mazitov N. K., Sakhapov R. L., Sharafiev L. Z., Sadriev F. M., Salakhov A. F., Dmitriev S. Yu., Rakhimov Z. S. V. P. Goryachkin – vydayushchiysya uchenyy, pedagog (145-letiyu so dnya rozhdeniya posvyashchaetsya) [V. P. Goryachkin is outstanding scientist, teacher]. Sistema tekhnologii i mashin dlya innovatsionnogo razvitiya APK: Sb. nauchn. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhnich. konf. Moscow: VIM. 2013. pp. 50-54 (Russian).

4. Author certificate 1291112 USSR; Ustroystvo dlya vneseniya konservantov korma [Unit for introduction of forage preservatives]. Zenikov V. I. Byul., 1988. No. 7 (Russian).



УДК 631.362.32

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО СОРТИРОВАЛЬНОГО СТОЛА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬЮ 9 Т/Ч

ПЕХАЛЬСКИЙ И.А.,
канд. техн. наук,

ЖАЛНИН Э.В.,
докт. техн. наук, профессор

НУРБАГАНДОВА Р.М.,
мл. науч. сотр.

Всероссийский институт механизации сельского хозяйства, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Российская Федерация,
e-mail: vim@vim.ru

В ходе эксплуатации пневматического сортировального стола необходимо учитывать множество взаимосвязанных технологических параметров, каждый из которых имеет свое оптимальное значение, обеспечивающее высокую эффективность работы этой машины. Обосновали оптимальные параметры режима работы пневматического сортировального стола производительностью 9 тонн в час. Определили углы продольного и поперечного наклона деки, скорость воздушного потока, амплитуду и частоту колебаний деки. Экспериментально установили, что угол продольного наклона деки имеет оптимальное значение 7-10 градусов, поперечного – 7-8 градусов. При соблюдении этих параметров получили максимальную эффективность очистки обрабатываемого материала. Величина поперечного угла наклона деки влияет на толщину слоя обрабатываемого материала на ее рабочей поверхности. Так, при углах 7 и 4 градуса толщина слоя соответственно составляет 40 и 60 мм в средней части деки при оптимальном кинематическом режиме. Превышение этого показателя относительно оптимальной величины (30-40 мм) снижает эффективность работы пневматического сортировального стола. Установили, что при малом аэродинамическом сопротивлении подстилающей поверхности деки (4 Па) изменения толщины слоя по поверхности деки существенно влияют на распределение воздушного потока. Например, коэффициент вариации скорости воздушного потока на деке с зерном составляет 42 процента, без зерна – 17. При увеличении аэродинамического сопротивления подстилающей поверхности деки (700 Па) коэффициент вариации воздушного потока на деке с зерном составляет 6 процентов, без зерна – 19. Выявили, что увеличение аэродинамического сопротивления подстилающей поверхности деки уменьшает зависимость распределения воздушного потока от толщины слоя обрабатываемого материала. Изложили последовательность установки параметров режима работы пневматического сортировального стола, обеспечивающую высокую эффективность очистки семян.

Ключевые слова: очистка семян, пневматический сортировальный стол, дека, полнота выделения примеси, производительность.

Пневматические сортировальные столы – одни из наиболее сложных машин, применяемых при послеуборочной обработке зерна и семян [1-4]. Вследствие большого количества взаимосвязанных технологических параметров машины, незначительное изменение одного из них вызывает отклонения других, нарушая технологический процесс очистки семян и затрудняя выбор оптимального режима. Поэтому для эффективной эксплуатации пневматического сортировального стола необходимо подобрать и обосновать опти-

мальный режим его работы.

Цель исследований – обоснование оптимальных параметров работы пневматического сортировального стола производительностью 9 т/ч: углов продольного и поперечного наклона деки, скорости воздушного потока, амплитуды и частоты колебаний деки.

Материалы и методы. Использовали семена рядовой пшеницы, засоренные члениками редьки дикой, а также макет пневматического сортировального стола с камерой наддува. Качество очистки семян на пневматическом сортировальном столе

определяли полнотой выделения примеси E:

$$E = (\Pi_{и} - \Pi_{о}) / \Pi_{и},$$

где: $\Pi_{и}$ – содержание примеси в исходном материале, шт./кг;

$\Pi_{о}$ – содержание примеси в очищенном материале, шт./кг.

Режим работы пневматических сортировальных столов характеризуется амплитудой и частотой колебаний деки, скоростью воздушного потока на ее рабочей поверхности, углами поперечного и продольного наклона деки (рис. 1).

Исследования по определению оптимальных параметров режима работы пневматического сортировального стола производительностью 9 т/ч проводили на макете с камерой наддува, с рабочей поверхностью из плетеной металлической сетки и декой предложенной нами формы [5].

При постоянных значениях угла направленности колебаний деки ($\beta = 29^\circ$) и амплитуды колебаний (8 мм) была определена оптимальная частота колебаний деки, величина, при которой обрабатываемый материал равномерно распределен по поверхности при различных исследуемых параметрах [6, 7].

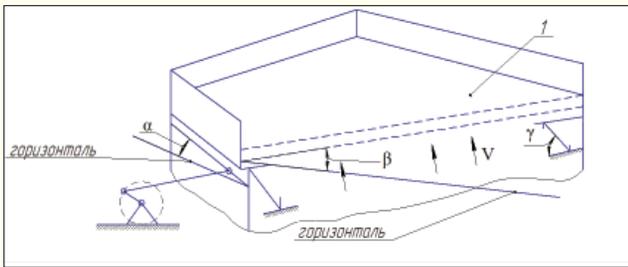


Рис. 1. Дека пневматического сортировального стола: 1 – рабочий механизм; α – поперечный угол колебаний деки; β – продольный угол колебаний деки; V – направление воздушного потока; γ – угол направленности колебаний деки

Оптимальная частота колебаний деки изменяется в соответствии с отклонением любого из исследуемых параметров. В частности, она зависит от угла ее продольного наклона при выделении членков редьки дикой из семян пшеницы и описывается уравнением вида:

$$n = r \operatorname{tg} \beta + c,$$

где n – частота колебаний деки, кол./мин;

β – угол продольного наклона деки, град.;

r – коэффициент, равный 1750;

c – свободный член, равный 190.

Результаты и обсуждение. Результаты экспериментальных исследований показывают, что полнота очистки материала зависит как от величины угла продольного наклона деки, так и от потерь семян основной культуры в отходы (рис. 2). Величина угла продольного наклона деки имеет оптимальное значение, которое находится в пределах $7-10^\circ$.

Из графика также следует, что чем больше величина потерь семян основной культуры в отходах, тем лучше качество очищенного материала.

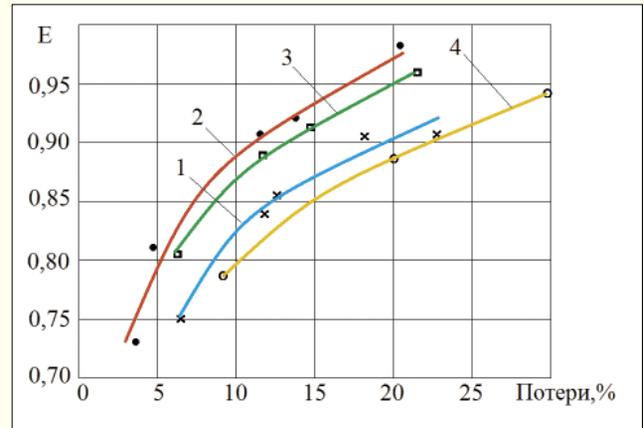


Рис. 2. Зависимость эффективности E выделения членков редьки дикой из семян пшеницы от потерь семян в отходы при различных углах β продольного наклона деки: 1 – $11,2^\circ$; 2 – $9,2^\circ$; 3 – $6,8^\circ$; 4 – $4,0^\circ$

На рисунке 3 представлена зависимость эффективности выделения членков редьки дикой из семян пшеницы от потерь семян основной культуры при различных значениях угла α поперечного наклона деки.

Как видим, качество очистки напрямую связано с величиной потерь семян основной культуры в отходы и практически не зависит от угла поперечного наклона деки в пределах $7-8^\circ$.

С уменьшением угла поперечного наклона деки увеличивается толщина слоя обрабатываемого материала на ее рабочей поверхности. Например, при углах поперечного наклона деки 7° и 4° она составляет, соответственно, 40 и 60 мм. Увеличение толщины слоя ухудшает степень выделения членков редьки дикой из семян пшеницы. Оптимальная толщина слоя в зоне загрузки материала на деку – 30-

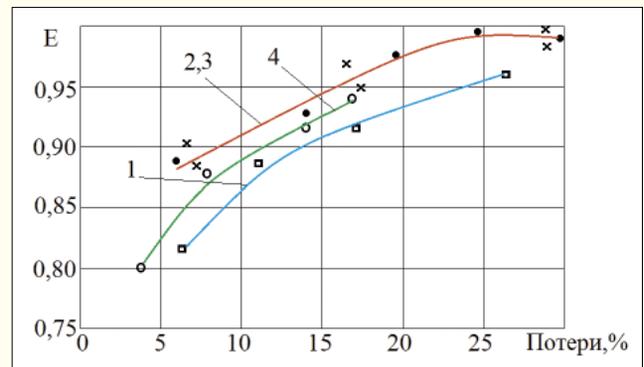


Рис. 3. Зависимость эффективности E выделения членков редьки дикой из семян пшеницы от потерь семян в отходы при различных углах α поперечного наклона деки: 1 – 10° ; 2 – 8° ; 3 – 7° ; 4 – 6°



40 мм, в зоне схода обработанного материала с деки – 15-20 мм.

Если угол поперечного наклона деки превышает 10° , то толщина слоя обрабатываемого материала уменьшается настолько, что движущиеся частицы нижней части слоя к правому борту деки (если смотреть на деку со стороны разгрузочной кромки) препятствуют скатыванию легких частиц к левому борту (к выходу легкой фракции), и чем больше угол, тем больше препятствий они оказывают. Это значительно снижает эффективность очистки материала.

Оптимальное значение амплитуды колебаний деки находится в пределах 7-10 мм. Выход за эти пределы влечет снижение эффективности разделения материала.

Экспериментами установлено, что изменение амплитуды A колебаний влияет на частоту колебаний n , что выражается уравнением:

$$x = A n^2.$$

Величина x зависит от производительности, углов наклона деки и скорости воздушного потока. С увеличением указанных параметров значение x повышается.

Для отечественных пневматических сортировальных столов характерно малое аэродинамическое сопротивление дек. Распределение воздушного потока по площади деки существенно зависит от толщины слоя обрабатываемого материала в соответствующих зонах. Определены средние скорости воздушного потока на деке с аэродинамическим сопротивлением 4 Па: на поверхности с зерном – 1,26 м/с, без зерна – 1,6 м/с.

Коэффициент вариации скоростей воздушного потока на деке с зерном составляет 42%, без зерна – 17%. При этом в первом случае скорость воздушного потока уменьшается в зонах, где увеличена толщина слоя, что нарушает технологический процесс выделения трудноотделимых примесей.

Определены поля скоростей воздушного потока на деке с аэродинамическим сопротивлением 700 Па. Коэффициент вариации воздушного потока на деке с зерном составляет 6%, без зерна – 19%.

Значения коэффициентов вариации скоростей воздушного потока на деке показывают, что при обработке материала с увеличенным аэродинамическим сопротивлением подстилающей поверхности деки равномерность распределения воздушного потока более высокая и в меньшей степени зависит от толщины слоя материала, что улучшает эффективность работы пневматического сортировального стола.

Проведенные исследования показали, что эффективность очистки семян на деке пневматического сортировального стола повышается, если на деке, свободной от зерна, отношение средней ско-

рости воздушного потока в зоне подачи материала (примерно 1/4 часть деки) к средней скорости в остальной части деки составляет 1,2-1,4.

Из-за сложности правильной установки режима работы пневматических сортировальных столов не всегда удается добиться их эффективной работы.

Поэтому очень важно проводить регулировку в определенной последовательности:

1. Установить оптимальные значения амплитуды колебаний, углов продольного и поперечного наклона деки.

2. Установить скорость воздушного потока на деке без зерна в зоне подачи материала на деку около 1,6 м/с, в остальной части – около 1,3 м/с.

3. Установить частоту колебаний деки $n = 450$ кол./мин.

4. Включить вибрацию деки.

5. Включить подачу обрабатываемого материала требуемой величины (в частности 9 т/ч).

6. Добиться равномерного распределения обрабатываемого материала на деке, изменяя частоту ее колебаний:

- при расположении обрабатываемого материала в верхней части разгрузочной кромки деки частоту колебаний деки необходимо уменьшить до равномерного его распределения по деке;

- при расположении обрабатываемого материала в нижней части разгрузочной кромки деки частоту колебаний деки необходимо увеличить до равномерного его распределения по деке.

7. Скорость воздушного потока можно повышать до момента начала образования «фонтанов», не допуская их появления; при их отсутствии скорость воздушного потока повышают до момента их образования, а затем снижают до момента их исчезновения. Таким способом будет установлена оптимальная скорость воздушного потока для конкретного случая.

8. При регулировке скорости воздушного потока может нарушаться равномерное распределение обрабатываемого материала на деке. В этом случае проводят дополнительную регулировку частоты колебаний деки в соответствии с п. 6.

Выводы

1. Определены оптимальные значения углов поперечного и продольного наклонов деки, частота и амплитуда колебаний деки пневматического сортировального стола производительностью 9 т/ч.

2. Установлено влияние аэродинамического сопротивления подстилающей поверхности деки на распределение воздушного потока по площади деки.

3. Даны рекомендации по установке оптимального режима работы пневматического сортировального стола.

Литература

1. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Зюлин А.Н. Разработка и внедрение высокоэффективных, ресурсо- и энергосберегающих технологий и технических средств послеуборочной обработки зерна и подготовки семян // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. – 2009. – № 1. – С. 2-9.

2. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Система машин и технологий для инновационного развития АПК России // *Система технологий и машин для инновационного развития АПК России: Сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. Ч. 1.* – М.: ВИМ, 2013. – С. 6-10.

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. – № 1. – С. 11-14.

4. Сорокин Н.Т., Хамуев В.Г., Бабченко В.Д. Создание сельскохозяйственных машин на инновационной основе // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. – 2009. – № 1. – С. 2-9.

5. Бабченко В.Д. Оптимальные параметры пневматического сортировального стола производительностью 9 т/ч // *Система технологий и машин для инновационного развития АПК России: Сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф.* – М.: ВИМ, 2013. – С. 133-135.

6. Бабченко В.Д. Исследование процесса сепарации семян на пневматическом сортировальном столе // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. – 2014. № 2. – С. 34-38.

7. Пехальский И.А. Универсальная классификация травматических повреждений внутренних структур семян сельскохозяйственных культур // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. – 2015. – № 6. – С. 9-13.

JUSTIFICATION OF AN OPTIMUM OPERATING MODE OF A PNEUMATIC GRAVITY TABLE SEPARATOR WITH A PRODUCTIVITY OF 9 TONS PER HOUR

I.A. Pekhal'skiy, V.D. Babchenko, R.M. Nurbagandova

All-Russia Research Institute of Mechanization for Agriculture, 1st Institutskiy proezd, Moscow, 109428, Russian Federation

During operation of a gravity table separator it is necessary to consider a set of the interconnected technological parameters, each of which has an optimum value providing high overall performance of this machine. Optimum parameters of an operating mode of a gravity table separator with a productivity of 9 tons per hour were proved. The pitch and cross tilt angles of a screen deck, speed of an air stream, amplitude and frequency of fluctuations of a screen deck were defined. It was experimentally established that the pitch has optimum value of 7-10 degrees, tilt – 7-8 degrees. While meeting these parameters maximum efficiency of cleaning of the processed material was received. A size of a cross tilt angle of a screen deck influences thickness of a processed material layer on its working surface. So, at angles 7 and 4 degrees layer thickness respectively makes 40 and 60 mm in a middle part of a screen deck at the optimum kinematic mode. Excess of this indicator with respect to optimum size (30-40 mm) reduces overall performance of a gravity table separator. It was established that at the small aerodynamic resistance of underlying surface of screen deck (4 Pas) the changes of thickness of a layer on a screen deck surface significantly influence distribution of an air stream. For example, the coefficient an air stream speed variation on a screen deck with grain makes 42 percent, without grain – 17. At increase in aerodynamic resistance of screen deck underlying surface (700 Pas) the variation coefficient of an air stream on a screen deck with grain makes 6 percent, without grain – 19. Revealed that the increase in aerodynamic resistance of screen deck underlying surface reduces dependence of distribution of an air stream on thickness of a layer of the processed material. The sequence of setting of operating mode parameters of a gravity table separator providing high efficiency of seeds cleaning was stated.

Keywords: Seeds cleaning; Gravity table separator; Screen deck; Degree of separation; Productivity.

References

1. Lachuga A.M., Izmaylov A.Yu., Zyulin A.N. *Razrabotka i vnedrenie vysokoeffektivnykh, resurso- i energosberegayushchikh tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv posleuborochnoy obrabotki zerna i podgotovki semyan [Development and deployment of highly effective, resource-energy saving technologies and techniques for postharvest grain processing and seeds*

preparation]. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2009. No. 1. pp. 2-9 (Russian).

2. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. *Sistema mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii i avtomatizatsii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na period do 2020 goda [System of machinery and technologies for integrated mechanization and automation of agricultural production for the period till 2020]. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2013. No. 1. pp. 133-135 (Russian).*

nologii. 2013. No. 6. pp. 6-10 (Russian).

3. Elizarov V.P., Antyshev N.M., Beylis V.M., Shevtsov V.G. *Iskhodnye trebovaniya na tekhnologicheskie operatsii v rastenievodstve [Initial requirements of technological operations in plant growing]. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2011. No. 1. pp. 11-14 (Russian).*

4. Sorokin N.T., Khamuev V.G., Babchenko V.D. *Sozdanie sel'skokhozyaystvennykh mashin na innovatsionnoy osnove [Creation of agricultural machines on an innovative basis]. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2009. No. 1. pp. 2-9.*

5. Babchenko V.D. *Optimal'nye parametry pnevmaticheskogo sortiroval'nogo stola proizvoditel'nost'yu 9 t/h [Optimum parameters of a gravity*

table separator with a productivity of 9 tons per hour]. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2014. No 5. pp. 22-26 (Russian).

6. Babchenko V.D. *Issledovanie protsessa separatsii semyan na pnevmaticheskoy sortiroval'noy stole [Research of seeds separation process on a gravity table separator]. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2014. No 2. pp. 34-38 (Russian).*

7. Pekhal'skiy I.A. *Universal'naya klassifikatsiya travmaticheskikh povrezhdeniy vnutrennikh struktur semyan sel'skokhozyaystvennykh kul'tur // Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii [Universal classification of traumatic damages of internal structures of crops seeds]. 2015. No. 6. pp. 9-13 (Russian).*

**Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение
Всероссийский научно-исследовательский
институт механизации сельского хозяйства
(ФГБНУ ВИМ)
объявляет набор**

в аспирантуру на бюджетные и платные места

на 2016-2017 учебный год

Лицензия №1376 от 10.04.2016

Государственная аккредитация

(приказ Рособнадзора № 63 от 21 января 2016года)

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 механизации сельского хозяйства.

Адрес института: 109428, Москва, 1-й Институтский проезд, 5.

Телефон для справок: 8 (499) 709-33-68.

УДК 662.63

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕРМООБРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ТРУБЧАТЫХ РЕАКТОРАХ

ГОЛУБКОВИЧ А.В.¹,
ДОКТ. ТЕХН. НАУК,

ПЕХАЛЬСКИЙ И.А.¹,
КАНД. ТЕХН. НАУК,

ДАДЬКО А.И.¹,
АСПИРАНТ,

ЧИЖИКОВ А.Г.²,
КАНД. ТЕХН. НАУК

¹Всероссийский научно-исследовательский институт, механизации сельского хозяйства, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Российская Федерация, e-mail: 5895225@bk.ru,

²Всероссийский научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства, 1-й Вешняковский пер., 2, Москва, 109456, Российская Федерация

В сельском хозяйстве продукты пиролиза растительных материалов в виде отходов основного производства можно применять в качестве источника тепла и электроэнергии. Кроме того, их использование предотвращает экологическое загрязнение почвы и атмосферы. Пиролизные установки с трубчатыми реакторами пригодны для работы в любом хозяйстве. С их помощью можно сушить зерно, используя бросовое тепло дизель-генераторов, теплогенераторов, котельных и получая при этом газообразные продукты, жидкую и твердую фракции. Показали, что в основе технологии лежит циклично-непрерывное перемещение растительной массы поршнем внутри трубы от участка загрузки до места выгрузки твердой фазы последовательно через камеры сушки, пиролиза, конденсации газообразных продуктов. Отметили, что противотоком перемещению материала от энергетического оборудования подают отработанные топочные газы с температурой до 600 градусов Цельсия. Из камеры пиролиза отводят газообразные, жидкие и твердые продукты, используемые для выработки теплоты и электроэнергии. Выявили, что для эффективной и устойчивой работы трубчатого реактора необходим расчет параметров камер подсушки и пиролиза. Определили скорость перемещения сырья, а также продолжительность сушки и пиролиза в рабочих камерах. Подтвердили экспериментально результаты анализа упрощенной математической модели процесса. Предложили модели термообработки влажных растительных материалов в трубчатых реакторах на основе равенства скоростей перемещения материала в реакторе и распространения температурного фронта в материале по радиусу. Привели расчетные характеристики для вычисления производительности трубчатого реактора и величины теплоты, потребной для сушки и пиролиза.

Ключевые слова: растительные материалы, пиролиз, подсушка, отбросное тепло, трубчатый реактор, теплообмен.

Вопросы сушки соломы и зерна имеют важные народнохозяйственное значение. Наряду с инновационными технологиями и техническими средствами для повышения эффективности сушки зерна следует использовать альтернативные источники тепла [1-5].

В сельском хозяйстве, продукты пиролиза растительных материалов (РМ) могут служить источником тепла и электроэнергии. При этом предотвращается экологическое загрязнение почвы и ат-

мосферы. Пиролизные установки с трубчатыми реакторами способны нагревать сырье бросовым теплом дизель-генераторов, теплогенераторов, котельных с получением газообразных продуктов, жидкой и твердой углеподобной фракции [6].

Известны технология и устройство для термообработки РМ с получением тепловой энергии и электричества, которые могут быть использованы в сельскохозяйственных предприятиях на собственные нужды [7, 8].

Суть технологии заключается в циклично-непрерывном перемещении поршнем массы РМ внутри трубы от участка загрузки до места выгрузки твердой фазы последовательно через камеры сушки, пиролиза, конденсации газообразных продуктов.

Из камеры пиролиза отводят газообразные и жидкие продукты, используемые для выработки электроэнергии и теплоты, а твердая фаза представляет собой высококалорийный продукт.

Цель исследования – расчет длительности просушки, пиролиза, производительности и теплоты, потребной для пиролиза в трубчатом реакторе.

Материалы и методы. В трубе диаметром D длиной L подвергают пиролизу РМ. В кожух трубы прямооток или противоток движению материала подают топочные газы. С одной стороны трубы материал загружают, с другой – выводят твердую фракцию. Перемещение материала осуществляют поршнем, который периодически отводят назад, и загружают новую порцию РМ. По ходу трубы РМ прогревается, сушится, подвергается пиролизу, газообразные продукты выводятся и конденсируются с получением жидкой фракции, а твердую фракцию после охлаждения разгружают (рисунком).

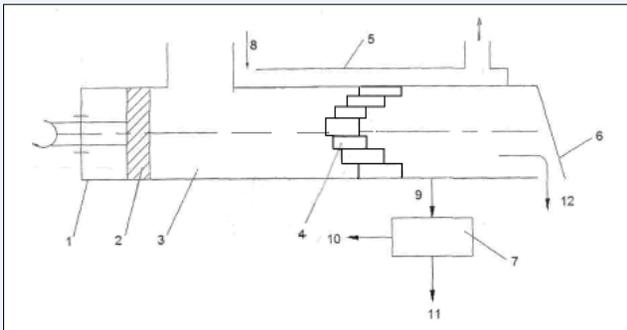


Рис. Технологическая схема трубчатого реактора пиролизной установки:

1 – труба-пиролизер; 2 – поршень; 3 – загрузочная камера; 4 – РМ (элементарные слои); 5 – кожух; 6 – разгрузочное устройство; 7 – конденсатор; 8 – топочные газы; 9 – газообразные продукты пиролиза; 10 – несконденсированные газы; 11 – жидкая фракция; 12 – твердая фракция

Вначале происходит термообработка элементарного слоя РМ, прилегающего к внутренней поверхности трубы, затем следующего слоя и т.д., при этом фронт термообработки перемещается как по радиусу, так и по длине трубы. На выходе разгружают охлажденный твердый остаток, масса которого равна массе сырья за вычетом масс газообразных продуктов пиролиза. Тепло РМ передается кондуктивно от греющей поверхности, но при этом учитывают конвективную составляющую от выделения газообразных продуктов.

Затраты тепла на испарение влаги из РМ приемлемы равными затратам тепла на испарение со свободной поверхности воды. Потерями тепла в окружающую среду пренебрегаем, так как кожух реактора пиролиза теплоизолирован.

Поставленная задача не имеет однозначного решения, что обусловлено рядом усложняющих обстоятельств. Во-первых, взаимодействие потока энергии описывается системой нескольких нелинейных дифференциальных уравнений. Эти уравнения содержат ряд коэффициентов, определение которых затруднено вследствие недостаточной изученности протекающих явлений. Во-вторых, сам процесс термодеструкции включает закономерности сушки, сублимации и эндотермических реакций пиролиза. Поэтому приемлемый метод решения – создание и анализ упрощенной математической модели процесса, подтвержденный результатами экспериментов [9, 10].

Для эффективной и устойчивой работы трубчатого реактора необходимо определить оптимальные параметры камер сушки и пиролиза. Этот расчет, в частности, можно выполнить, учитывая оптимальную скорость перемещения сырья и продолжительность процессов сушки и пиролиза в камерах.

Результаты и обсуждение. Установили, что скорость V_n перемещения РМ в трубчатом реакторе должна соответствовать скорости распространения температурного фронта в материале по радиусу. Это обусловлено тем, что на выходе по сечению трубы будет обеспечена одинаковая величина термического превращения РМ, что необходимо, в частности, для непрерывной подачи газообразных продуктов пиролиза потребителю.

Зная величину V_n и рассчитав время сушки τ_c и пиролиза τ_n , можно определить производительность Π и потребную теплоту Q .

Рассматривая элементарный слой материала высотой h_3 , подвергаемого пиролизу, запишем величину V_n :

$$V_n = \frac{a}{h_3},$$

где a – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2/\text{ч}$;
 h_3 – высота элементарного слоя сырья, м ;

$$h_3 = \frac{d_3}{\sqrt[3]{\eta_0}},$$

где d_3 – эквивалентный диаметр частицы, м ;

η_0 – коэффициент термического превращения РМ (отношение массы исходного сухого материала к твердой фазе).

Эффективный пиролиз возможен в сухом материале. Кроме того, продукты пиролиза должны со-

держат минимальное количество паров, поэтому при использовании влажных РМ необходима предварительная подсушка.

При кондуктивной сушке тепло РМ передается как свободной конвекцией, так и теплопроводностью. Так как РМ имеет повышенную порозность ($\varepsilon \geq 0,5$), передача тепла теплопроводностью менее эффективна, чем конвекцией, которую и примем за основу. Длительность сушки РМ в трубчатом реакторе τ_c можно записать в виде [9]:

$$\tau_c = \frac{\Delta U r R}{\sqrt{2} \alpha_c f_1 (T_1 - \theta_{cp1}) d_3 \eta},$$

где ΔU – влагосъем, кг вл./кг сух. мат.;

r – удельная теплота испарения влаги, кДж/кг;

R – диаметр трубы, м;

α_c – коэффициент теплоотдачи при свободной конвекции, Вт/м²·°С;

f_1 – удельная поверхность частицы РМ, м²/кг;

T_1, θ_{cp1} – температура греющей поверхности и средняя температура материала, °С;

d_3 – эквивалентный размер частицы РМ, м;

η – доля теплоты, пошедшая на испарение влаги.

При движении поршня частицы РМ сжимаются и заполняют поры нижерасположенных слоев, тем самым повышая теплопроводность и поверхность теплообмена. Перемещение поршня уплотняет и прижимает непиролизированный материал к греющей поверхности, пока фронт пиролиза достигнет центра трубы.

Тепломассоперенос в кольцевом слое при пиролизе в трубе диаметром R можно записать:

$$q = \frac{\sqrt{2} (T_1 - \theta_{cp}) \lambda}{R}, \quad (1)$$

где q – поток теплоты, Вт/м²;

T_1, θ_{cp} – температура греющей поверхности и средняя температура слоя, подвергаемого пиролизу,

$$\theta_{cp} = \frac{(T_1 - \theta_0)}{2}$$

(здесь θ_0 – начальная температура РМ, °С);

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м·°С.

Величину q можно представить в виде:

$$q = \frac{\Delta U^* q_0 G_0 \eta_1}{F_0 \tau_{п}}, \quad (2)$$

где $\Delta U^* = 1 - \eta_0$ – содержание термонеустойчивой части РМ, разлагаемой при пиролизе, кг терм.неуст./кг сух.мат.;

q_0 – удельная теплота пиролиза (принимается равной теплотворной способности) РМ, кДж/кг;

$G_0 = G (1 - \eta_0)$ – масса материала, подвергающаяся пиролизу (G – начальная масса, кг);

$F_0 = F (1 - \varepsilon_0)$ – теплообменная поверхность (F – полная поверхность; ε – порозность слоя, м²);

$\tau_{п}$ – время пиролиза, ч.

Отношение F/G есть удельная поверхность частиц РМ в пограничном слое f , м²/кг.

Приравнивая правые части (1) и (2), запишем время пиролиза, ч:

$$\tau_{п} = \frac{\Delta U^* R q_0 (1 - \eta_0)}{\sqrt{2} f \lambda (T_2 - \theta_{cp2}) (1 - \varepsilon_0) \eta_1}, \quad (3)$$

где T_2, θ_{cp2} – температура греющей поверхности и средняя температура материала при пиролизе °С.

Определим длину сушильной камеры, м:

$$L_c = \frac{V_{п} \Delta U r R}{\sqrt{2} \alpha_c (T_1 - \theta_{cp1}) f_1 d_3 \eta}. \quad (4)$$

Этот же показатель для пиролизной камеры равен, м:

$$L_{п} = \frac{\Delta U^* R q_0 (1 - \eta_0)}{\sqrt{2} \lambda (T_2 - \theta_{cp2}) (1 - \varepsilon_0) f \eta_1}. \quad (5)$$

Производительность реактора Π можно определить, предварительно рассчитав вместимость сушильной камеры G_c в предположении, что устройство работает в непрерывном режиме (на самом деле поршень периодически отводится для загрузки новой партии РМ):

$$\Pi = A \frac{G_c}{\tau_c}, \quad (6)$$

где $G_c = 2\Pi R L_c \gamma$ (здесь γ – объемная масса РМ, кг/м³).

Потребные затраты теплоты на термообработку РМ можно найти из выражения:

$$Q = \kappa F_{\Sigma} (T_{п} - T_{к}), \quad (7)$$

где κ – коэффициент теплопередачи, Вт/м²·°С;

$F_{\Sigma} = 2\pi R (L_c + L_{п})$, м²;

$T_{п}, T_{к}$ – начальная и конечная температура топочных газов, подаваемых в кожух трубчатого реактора, °С.

Величину κ при скорости топочных газов 5-10 м/с можно принять примерно равной 15 Вт/м²·°С, значение $T_{к}$, по аналогии с высокотемпературными зерносушилками, приблизительно соответствует 70°С.

Выводы

При термообработке влажных растительных материалов в трубчатых реакторах можно получить теплоту и электроэнергию, используя тепловые отходы энергетических установок. Предложили расчетные характеристики для определения производительности трубчатого реактора и величины теплоты, потребной для сушки и пиролиза, на основе определения оптимальной скорости перемещения растительных материалов в трубе и длительности периодов сушки и пиролиза.

Литература

1. Голубкович А.В. Топки на растительных отходах: процессы, конструкции, режимы, расчеты. – М.: ВИМ, 2011. – 172 с.
2. Голубкович А.В., Чижииков А.Г. Обоснование методов расчета параметров пиролиза растительных материалов // Промышленная энергетика. – 2011. – № 12. – С. 52-53.
3. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Зюлин А.Н. Разработка и внедрение высокоэффективных, ресурсо- и энергосберегающих технологий и технических средств послеуборочной обработки зерна и подготовки семян // Сельскохозяйственные машины и технологии». – 2009. – № 1. – С. 2-9.
4. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Система технологий и машин для инновационного развития АПК России // Система технологий и машин для инновационного развития АПК России: Сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. Ч.1. – М.: ВИМ, 2013. – С. 9-12.
5. Голубкович А.В., Чижииков А.Г. Расчет процесса пиролиза в трубчатых реакторах. – М.: РАСХН, 2013. – № 6. – С. 5-8.
6. Патент РФ № 2530057. Способ термической переработки органосодержащего сырья и устройство для его осуществления. Голубкович А.В., Чижииков А.Г., Павлов С.А., Измайлов А.Ю. 2014.
7. Павлов С.А., Левина Н.С., Елизаров О.В. Экспериментальные исследования реверсивной сушки семян гороха // Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации Государственной программы развития сельского хозяйства: Сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. – М.: ВИМ, 2015. – С. 357-360.
8. Павлов С.А. Обоснование безопасных скоростных режимов сушки семян // Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации Государственной программы развития сельского хозяйства: Сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. – М.: ВИМ, 2015. – С. 360-363.
9. Павлов С.А. Моделирование реверсивного режима сушки в колонковой сушилке // Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий: Сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. – М.: ВИМ, 2014. – С. 261-263.

INCREASE OF EFFICIENCY OF PLANT MATERIALS HEAT TREATMENT IN TUBULAR REACTORS

A.V. Golubkovich¹, I.A. Pekhal'skiy¹, A.I. Dadyko¹, A.G. Chizhikov²

¹All-Russia Research Institute of Mechanization for Agriculture, 1st Institut'skiy proezd, Moscow, 109428, Russian Federation, e-mail: 5895225@bk.ru

²All-Russian Scientific-Research Institute for Electrification of Agriculture, 1st Veshnyakovskiy proezd, 2, Moscow, 109456, Russian Federation

In agriculture products of pyrolysis of plant materials in the form of waste of the main production can be applied as a source of heat and electric power. Besides, their use prevents ecological pollution of the soil and the atmosphere. Pyrolysis plants can be used for work with tubular reactors anywhere. Due to them farmers can dry grain, using waste heat of diesel generators, heatgenerators, boiler plants and receiving thus gaseous products, liquid and firm fractions. A technology based on cyclic and continuous plant mass movement by a piston in a pipe from a loading site to a place of unloading of a firm phase consistently through cameras of drying, pyrolysis, condensation of gaseous products. Exhaust furnace gases with a temperature up to 600 degrees Celsius are given countercurrent material movement from a power equipment. The gaseous, liquid and firm products from the pyrolysis camera are used for heat and electric power generation. Calculation of parameters of subdrying and pyrolysis cameras is necessary for effective and steady operation of the tubular reactor. The authors determined the speed of raw materials movement, and also duration of drying and pyrolysis in working chambers. An analysis of a simplified mathematical model of process was confirmed with results of experiments. Models of heat treatment of wet plant materials in tubular reactors are worked out on a basis of equality of speeds of material movement in the reactor and distribution of a temperature front in material on radius. The authors defined estimated characteristic for determination of tubular reactor productivity and size of heat, required for drying and pyrolysis.

Keywords: Plant materials; Pyrolysis; Subdrying; Waste heat; Tubular reactor; Heat exchange.

References

1. Golubkovich A.V. Topki na rastitel'nykh otkhodakh: protsessy, konstruksii, rezhimy, raschety [Heat chambers on plant waste: processes, designs, modes, calculations]. Moscow: VIM, 2011. 172 pp. (Russian).
2. Golubkovich A.V., Chizhikov A.G. Obosnovanie metodov rascheta parametrov piroliza rastitel'nykh materialov [Justification of methods of calculation of

parameters of plant materials pyrolysis]. Promyshlennaya energetika. 2011. No. 12. pp. 52-53 (Russian).

3. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Zyulin A.N. *Razrabotka i vnedrenie vysokoeffektivnykh, resurso- i energosberegayushchikh tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv posleuborochnoy obrabotki zerna i podgotovki semyan [Development and adoption of highly effective, resource- and energy saving technologies and technical means for postharvest processing of grain and treatment of seeds]. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2009. No. 1. pp. 2-9 (Russian).*

4. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. *Sistema tekhnologiy i mashin dlya innovatsionnogo razvitiya APK Rossii [System of technologies and machinery for innovative development of agrarian and industrial complex of Russia]. Sistema tekhnologiy i mashin dlya innovatsionnogo razvitiya APK Rossii: Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Moscow: VIM, 2013. pp. 9-12 (Russian).*

5. Golubkovich A.V., Chizhikov A.G. *Raschet protsessa piroliza v trubchatykh reaktorakh [Calculation of pyrolysis process in tubular reactors]. Moscow: RASKhN, 2013. No. 6. pp. 5-8 (Russian).*

6. Patent RF № 2530057. *Sposob termicheskoy pererabotki organosoderzhashchego syr'ya i ustroystvo*

dlya ego osushchestvleniya [Way of thermal processing of organic raw materials and device for its implementation]. Golubkovich A.V., Chizhikov A.G., Pavlov S.A., Izmaylov A.Yu. 2014 (Russian).

7. Pavlov S.A., Levina N.S., Elizarov O.V. *Eksperimental'nye issledovaniya reversivnoy sushki semyan gorokha [Pilot studies of reverse drying of peas seeds]. Intellektual'nye mashinnye tekhnologii i tekhnika dlya realizatsii Gosudarstvennoy programmy razvitiya sel'skogo khozyaystva: Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Moscow: VIM, 2015. pp. 357-360 (Russian).*

8. Pavlov S.A. *Obosnovanie bezopasnykh skorosnykh rezhimov sushki semyan [Justification of the safe speed modes of seeds drying]. Intellektual'nye mashinnye tekhnologii i tekhnika dlya realizatsii Gosudarstvennoy programmy razvitiya sel'skogo khozyaystva: Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Moscow: VIM, 2015. pp. 360-363 (Russian).*

9. Pavlov S.A. *Modelirovanie reversivnogo rezhima sushki v kolonkovoy sushilke [Modeling of reverse mode of drying in the tower drier]. Innovatsionnoe razvitiye APK Rossii na baze intellektual'nykh mashinnykh tekhnologiy: Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Moscow: VIM, 2014. pp. 261-263 (Russian).*

ПНЕВМОСОРТИРОВАЛЬНЫЕ МАШИНЫ

ВИМ 12/25



ВИМ 1 СЕЛЕКЦИЯ



производительность:

до 25 тонн в час
до 1 тонны в час

УДК 631.532.2:631.331.92

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ДИСКОВОГО ЗАДЕЛЫВАЮЩЕГО ОРГАНА ЛУКОПОСАДОЧНОЙ МАШИНЫ

СИБИРЁВ А.В.¹,
канд. техн. наук,

АКСЕНОВ А.Г.¹,
канд. техн. наук,

ЕМЕЛЬЯНОВ П.А.²,
докт. техн. наук,
профессор

¹Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Российская Федерация, e-mail: sibirev2011@yandex. ru,

²Пензенская государственная сельскохозяйственная академия, ул. Ботаническая, 30, г. Пенза, 440014, Российская Федерация

Одна из необходимых в сельхозпроизводстве овощных культур – репчатый лук, производство которого должно удовлетворять потребности населения. Наиболее ответственной операцией при возделывании луковичных культур является посадка луковиц, так как для получения качественной товарной продукции необходимо соблюдение равномерного распределения луковиц вдоль борозды, ориентированных донцем вниз. Положение луковиц в борозде при их посадке определяют заделывающие рабочие органы. В связи с этим провели исследования по обоснованию конструкции дискового заделывающего органа лукопосадочной машины. Разработали конструкцию лабораторной установки и методику для проведения исследований. Изучили следующие варианты конструкций заделывающих рабочих органов: гладкие сферические диски; сферические диски с прямолинейными почвонаправителями; сферические диски с криволинейными почвонаправителями. Установили, что количество луковиц, заделанных почвой донцем вниз, и равномерность их распределения вдоль ряда у дискового заделывающего органа с криволинейными почвонаправителями выше, чем у дискового заделывающего органа с прямолинейными почвонаправителями и у гладких сферических дисков, в среднем на 2,6 и 1,8 процента соответственно, в скоростном интервале от 0,8 до 1,2 м/с. Определили, что при применении дискового заделывающего органа с криволинейными почвонаправителями при скорости 1 м/с и угле между горизонтальным диаметром и направлением поступательного движения диска 25 градусов количество луковиц, заделанных почвой донцем вниз, составляет 95 процентов, а равномерность распределения луковиц – 93,8 процента.

Ключевые слова: лук-севок, посадка луковиц, заделывающие рабочие органы, лабораторная установка, лукопосадочная машина.

Одной из необходимых в сельхозпроизводстве овощных культур является репчатый лук, производство которого должно удовлетворять потребности населения страны [1]. Поэтому выращиванию этой культуры необходимо уделять особое внимание. Наиболее ответственной операцией при возделывании луковичных культур является посадка луковиц, так как для получения качественной товарной продукции необходимо соблюдать равномерное распределение луковиц вдоль борозды, ориентируя их донцем вниз. Положение лу-

ковиц в борозде при их посадке определено конструкцией заделывающих рабочих органов.

Проведенный патентный поиск и анализ существующих заделывающих органов посадочного материала показал, что они не отвечают требованиям распределения луковиц в борозде. В связи с этим были проведены исследования по обоснованию конструкции дискового заделывающего органа [2, 3].

Цель исследований – определение влияния технологических параметров дискового заделывающего органа на качество заделки луковиц и лу-

ка-севка.

Материалы и методы. Экспериментальные исследования проводили в соответствии со СТО АИСТ 5.6-2010 «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины высадкопосадочные. Методы оценки функциональных показателей» в 2013-2014 гг. Высаживали лук-севок сорта Бессоновский местный [4].

Условия проведения лабораторно-полевых исследований изучали на учетных делянках длиной 50 м и шириной 1,4 м.

Для посадки лука-севка был выбран участок, на котором в дни проведения исследований определяли влажность и твердость почвы общепринятыми методами по ГОСТ 28268-89 и ГОСТ 28168-89.

Микрорельеф участка ровный, уклон – до 3°, участок имеет прямоугольную форму [5, 6].

Повторность и количество опытов соответствовали общепринятым рекомендациям. Обработку и анализ экспериментальных результатов осуществляли с применением компьютерных программ и статистических методов [7-9].

На основании априорной информации, полученной в ходе исследований физико-механических свойств почвы и лука-севка, результатов предварительных исследований по обоснованию конструкции заделывающих органов были выявлены наиболее существенные факторы, влияющие на качество заделки лука-севка [10].

Заделывающие рабочие органы ¹ устанавливали на приводную тележку ² переносной лабораторной установки (рис. 1).



Рис. 1. Общий вид лабораторной установки:
1 – направляющая; 2 – тележка приводная; 3 – ролик металлический; 4 – электродвигатель; 5 – преобразователь частотный; 6 – связь канатная

В период проведения поисковых исследований изучали условия на учетной делянке длиной 4 м и шириной 1,4 м.

На подготовленном участке в трех местах на глубине 0-0,01; 0,01-0,02; 0,02-0,03 м определяли влажность, твердость и липкость почвы общепринятыми методами по ГОСТ 28268-89, ГОСТ 28168-89 и ГОСТ 28287-89 соответственно. Микрорельеф

участка ровный, уклон – до 3°, длина гона – 4 м, ширина участка – 1,4 м, участок имел прямоугольную форму [11].

Поисковые исследования проводили в следующем порядке.

Перед каждым проходом заделывающего органа нарезали борозды полозовидным сошником и после этого вручную раскладывали луковицы донцем вниз с интервалом $L = 0,1$ м [2]. После прохождения заделывающим органом участка, на котором разложен лук-севок с фиксированным положением и определенным интервалом между луковицами, определяли качество заделки лука-севка по показателям:

- количество луковиц, расположенных донцем вниз, вверх и боком;
- равномерность распределения луковиц вдоль рядка.

Качество заделки лука-севка определяли в ходе раскрытия закрытой борозды вручную.

После каждого прохода заделывающего органа замеряли: угол наклона вешки относительно дна борозды (град) и расстояние между луковицами в рядке (м).

Для проведения поисковых исследований по обоснованию конструкции заделывающего органа были разработаны сферические диски:

- гладкие;
- с прямолинейными почвонаправителями;
- с криволинейными почвонаправителями.

Результаты и обсуждение. Для сравнения работы заделывающих органов, обеспечивающих качественные показатели заделки луковиц лука-севка, полученные данные сведены в таблицы 1 и 2.

Угол между горизонтальным диаметром и направлением поступательного движения диска α , град.	Сферические диски с криволинейными почвонаправителями			Сферические диски с прямолинейными почвонаправителями			Гладкие сферические диски		
	Поступательная скорость заделывающего органа м/с								
	0,8	1,0	1,2	0,8	1,0	1,2	0,8	1,0	1,2
5	87,8	89,8	90,0	87,5	88,8	88,9	82,4	82,2	81,5
10	90,6	91,0	92,0	92,1	90,0	91,0	85,8	85,6	86,4
15	91,4	93,3	93,6	92,5	91,8	92,0	88,8	87,8	88,1
20	92,5	93,8	94,0	92,6	92,3	92,0	91,6	91,2	90,0
25	93,6	95,0	94,5	93,1	92,7	92,6	92,4	91,6	91,3
30	85,6	87,4	88,5	86,2	87,6	87,4	77,4	76,7	78,9

В одном скоростном интервале при изменении угла между горизонтальным диаметром и направлением

Таблица 2

РАВНОМЕРНОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛУКОВИЦ, ЗАДЕЛАННЫХ ПОЧВОЙ ВДОЛЬ РЯДКА, %

Угол между горизонтальным диаметром и направлением поступательного движения диска α , град.	Сферические диски с криволинейными почво­на­правителями			Сферические диски с прямолинейными почво­на­правителями			Гладкие сферические диски		
	Поступательная скорость заделывающего органа, м/с								
	0,8	1,0	1,2	0,8	1,0	1,2	0,8	1,0	1,2
5	87,8	88,8	88,0	87,5	87,8	87,6	83,4	82,8	80,5
10	92,3	91,0	90,0	91,3	90,0	91,0	86,4	84,6	87,4
15	92,8	92,3	91,8	91,3	91,6	91,8	88,8	87,8	88,1
20	93,4	92,4	92,6	92,0	91,7	92,0	91,8	91,8	90,2
25	93,1	93,8	92,8	92,8	92,5	92,6	92,6	91,6	91,5
30	86,2	87,6	86,6	85,6	86,6	86,5	75,4	77,4	78,6

лением поступательного движения диска количество лукович, заделанных почвой донцем вниз, у дискового заделывающего органа с криволинейными почво­на­правителями выше, чем у сравниваемых заделывающих органов в среднем на 2,6% (табл. 1).

При этом количество лукович, заделанных почвой донцем вниз, составляет 95%, а равномерность распределения лукович – 93,8%,

Аналогичная тенденция прослеживается при сравнении рабочих органов по такому показателю качества заделки лукович, как равномерность распределения лукович, заделанных почвой вдоль рядка.

При этом равномерность распределения лукович вдоль рядка у дискового заделывающего органа с криволинейными почво­на­правителями выше, чем у сравниваемых заделывающих органов, в одном скоростном интервале в среднем на 1,8% (табл. 2).

Наилучшие качественные показатели заделки лука-севка (количество лукович, заделанных почвой донцем вниз, – 95% и равномерность распределения лукович, заделанных почвой, – 93,8%) дисковым заделывающим органом с криволинейными почво­на­правителями достигаются при поступательной скорости заделывающего органа 1 м/с и угле 25° между горизонтальным диаметром и направлением поступательного движения диска.

Выводы. Таким образом, результаты поисковых исследований свидетельствуют о том, что вне зависимости от изменения технологических параметров дискового заделывающего угла (между горизонтальным диаметром и направлением поступательного движения диска и скорости), наилучшие показатели качества заделки лукович лука-севка выявлены у дискового заделывающего органа с криволинейными почво­на­правителями. Рабочий

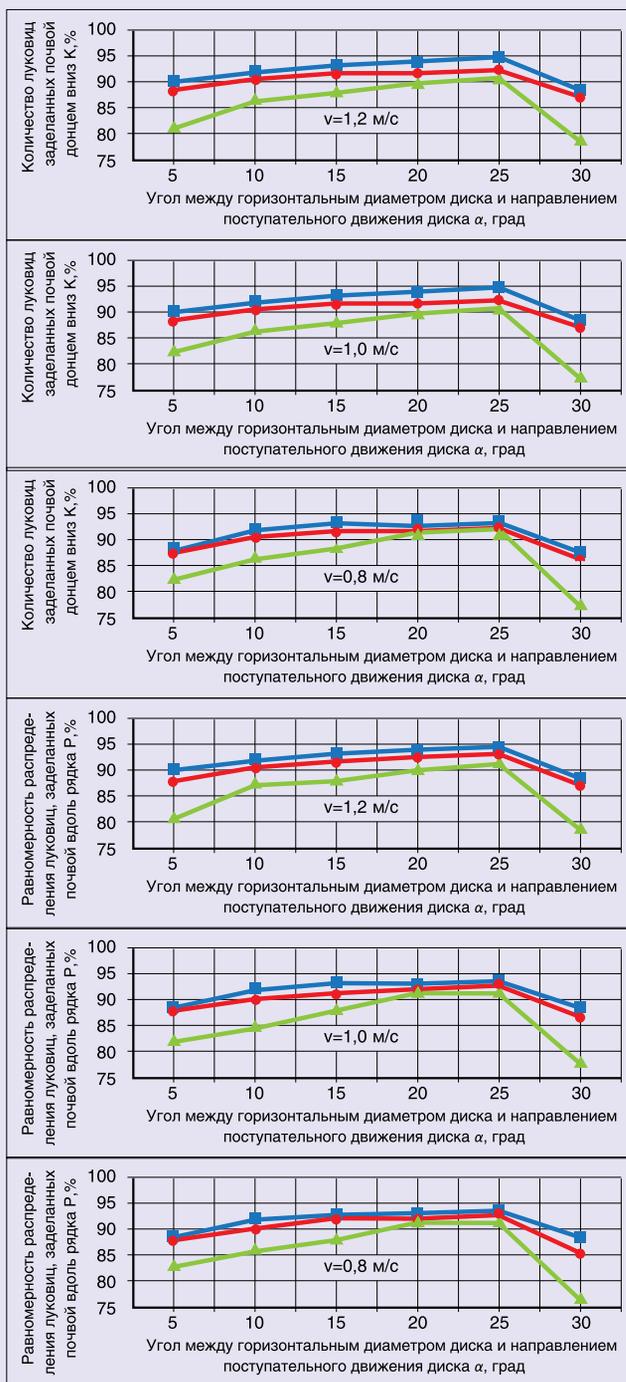


Рис. 2. Зависимость качественных показателей заделки лукович лука-севка почвой от вида заделывающих органов: (количество лукович, заделанных почвой донцем вниз; равномерность распределения лукович, заделанных почвой вдоль рядка);

— сферические диски с криволинейными почво­на­правителями; — сферические диски с прямолинейными почво­на­правителями; — гладкие сферические диски

орган такой конструкции обеспечивает наиболее качественную заделку лукович лука-севка, что способствует эффективному выращиванию этой культуры.

Литература

1. Пономарев А.Г., Кабаков Н.С., Джавадов Р.Д. Можно рассчитывать на успех при разных технологиях // Картофель и овощи. – 2001. – № 5. – С. 27.
2. Емельянов П.А., Сибирёв А.В. Экспериментальные лабораторные исследования дискового заделывающего органа для заделки лукович лука-севка // Вестник Ульяновской ГСХА. – 2013. – № 2 (22). – С. 98-100.
3. Емельянов П.А., Сибирёв А.В., Аксенов А.Г. Устройство для заделки лукович в борозде // Сельский механизатор. – 2014. – № 1. – С. 13-14.
4. СТО АИСТ 5.6-2010. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины высадкопосадочные. Методы оценки функциональных показателей. – введен 15.06.2008 г. – М.: Изд-во стандартов, 2010. – 27 с.
5. ГОСТ 28268-89. Метод определения влажности. – Взамен ГОСТ 12041-82; Введ. 01.01.89 г. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 4 с.
6. ГОСТ 28168-89. Почва. Отбор проб. – М.: Изд-во стандартов, 1989. – 6 с.
7. Колчин Н.Н., Алакин В.М., Плахов С.А. Взаимодействие клубней с рабочей поверхностью ви-

броротационной сортировки // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2014. – № 2. – С. 29-34.

8. Михеев В.В. Система машинных технологий и машин ресурсосберегающего возделывания сахарной свеклы // Система технологий и машин для инновационного развития АПК России: – Т. I. – М.: ВИМ, 2013. – С. 175-181.

9. Измайлов А.Ю., Колчин Н.Н., Лобачевский Я.П., Кынев Н.Г. Современные технологии и специальная техника для картофелеводства // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2015. – № 2. – С. 45-48.

10. Сибирёв А.В., Аксенов А.Г. Методика проведения поисковых опытов по заделке лукович в борозде // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: Сб. матер. Всеросс. науч.-практ. конф. – Т. II. – Пенза: РИО ПГСХА, 2012. – С. 151-153.

11. Шайхов М.К., Габдуллин Г.Г., Пугачев П.М., Шайхов М.М., Шайдуллин Р.Х., Асхадуллин Д.Ф. Модернизация универсальных рабочих органов сеялки для полосного посева зерновых и мелкосеменных культур // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2010. – № 6. – С. 24-26.

JUSTIFICATION OF DESIGN OF DISK COVERING WORKING ELEMENT IN ONION PLANTER

A.V. Sibirev¹, A.G. Aksenov¹, P.A. Emel'yanov²

¹All-Russia Research Institute of Mechanization for Agriculture, 1st Institutskiy proezd, Moscow, 109428, Russian Federation

²Penza State Agricultural Academy, Botanicheskaya St., 30, Penza, 440014, Russian Federation

One of necessary vegetable cultures in agricultural production is onion which production has to satisfy requirements of the population. The most responsible operation at cultivation of bulbous cultures is planting of bulbs as receiving qualitative products requires uniform distribution of bulbs focused by a stem down along a furrow. Covering working elements affect the provision of bulbs in a furrow at their planting. The authors justified a design of the disk covering elements in onion planter, worked out a design of laboratory installation and a technique for carrying out of researches. Several options of working elements designs were studied: smooth spherical disks; spherical disks with straight soil guides; spherical disks with curvilinear soil guides. The uniformity of distribution and quantity of the down stem bulbs covering with use of curvilinear soil guide disk are better than with use of rectilinear ones pochvonapravitel or smooth spherical disks, on average by 2.6 and 1.8 percent respectively, in a speed interval from 0.8 to 1.2 m/s. The quantity of the stem down bulbs covering by the soil makes 95 percent, and uniformity of bulbs distribution equals 93.8 percent when using disk covering working element with curvilinear soil guides at a speed of 1 m/s and the angle of 25 degrees between the horizontal diameter and the direction of disk forward motion.

Keywords: Seed onion; Bulb planting; Covering working elements; Test unit laboratory set-up; Onion bulb planter.

References

1. Ponomarev A.G., Kabakov N.S., Dzhavadov R.D. *Mozhno rasschityvat' na uspekhi pri raznykh tekhnologiyakh [Success is possible at different technologies]. Kartofel' i ovoshchi. 2001. No. 5.*

pp. 27 (Russian).

2. Emel'yanov P.A., Sibirev A.V. *Eksperimental'nye laboratornye issledovaniya diskovogo zadelyvayushchego organa dlya zadelki lukovits luka-sevka [Test laboratory research of disk covering element for*

covering of seed onion bulbs]. *Vestnik Ul'yanovskoy GSKhA*. 2013. No. (22). pp. 98-100 (Russian).

3. Emel'yanov P.A., Sibirev A.V., Aksenov A.G. *Ustroystvo dlya zadelki lukovits v borozde* [Device for sealing the bulbs in the groove]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2014. No. 7. pp. 13-14 (Russian).

4. *STO AIST 5.6-2010. Ispytaniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki. Mashiny vysadkoposadochnye. Metody otsenki funktsional'nykh pokazateley* [Agricultural machinery testing. Planters. Methods of assessment of functional indicators]. vveden 15.06.2008 g. Moscow.: Izd-vo standartov, 2010. 27 pp. (Russian).

5. *GOST 28268-89. Metod opredeleniya vlazhnosti* [Method of humidity determination]. *Vzamen GOST 12041-82; Vved.01.01.89 g.* Moscow: Izd-vo standartov, 1989. 4 pp. (Russian).

6. *GOST 28168-89. Pochva. Otbor prob* [Soil. Samples taking]. Moscow: Izd-vo standartov, 1989. 6 pp. (Russian).

7. Kolchin N.N., Alakin V.M., Plakhov S.A. *Vzaimodeystvie klubney s rabochey poverkhnost'yu vibrorotatsionnoy sortirovki* [Interaction of tubers with vobrorotary sorter working surface]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2014. No. 2. pp. 29-34 (Russian).

8. Mikheev V.V. *Sistema mashinnykh tekhnologiy i mashin resursosberegayushchego vozdeystviya*

sakharnoy svekly [System of machine technologies and machinery for resource-saving sugar beet cultivation]. *Sistema tekhnologiy i mashin dlya innovatsionnogo razvitiya APK Rossii: Sb. nauch. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekh. konf. T. I. Moscow: VIM, 2013. pp. 175-181 (Russian).*

9. Izmaylov A.Yu., Kolchin N.N., Lobachevskiy Ya.P., Kynev N.G. *Sovremennye tekhnologii i spetsial'naya tekhnika dlya kartofelevodstva* [Modern technologies and special equipment for potato production]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2015. No. 2. pp. 45-48 (Russian).

10. Sibirev A.V., Aksenov A.G. *Metodika provedeniya poiskovykh opytov po zadelke lukovits v borozde* [Technique of carrying out search experiments on bulbs covering in furrow]. *Vklad molodykh uchenykh v innovatsionnoe razvitie APK Rossii: Sb. mater. Vseross. nauch.-prakt. konf. T. II. Penza: RIO PGSKhA, 2012. 33. 151-153 (Russian).*

11. Shaykhov M.K., Gabdullin G.G., Pugachev P.M., Shaykhov M.M., Shaydullin R.Kh., Askhadullin D.F. *Modernizatsiya universal'nykh rabochikh organov seyalki dlya polosnogo poseva zernovykh i melkosemennykh kul'tur* [Modernization of universal working elements a seeder for strip sowing of grain and small-seeded crops]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2010. No. pp. 24-26 (Russian).



УДК 631.3.02: 004.358.001.891.57



ПРИНЦИПЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ПОЧВЕННОГО АГРЕГАТА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С РАБОЧИМ ЭЛЕМЕНТОМ МАШИНЫ

КРАВЧУК В.И.,член.-корр. НААН Украины,
докт. техн. наук, профессор,**ДАВЫДЮК В.П.,**

канд. техн. наук

Украинский научно-исследовательский институт прикладных информационных технологий, ул. Инженерная, 5, пгт Дослідницьке,
Васильковский район, Киевская обл., 08654, Украина, e-mail: DVP46@yandex.ua

Показали, что при выполнении технологических операций сельскохозяйственного производства рабочие элементы машины постоянно или импульсно взаимодействуют с отдельными объектами сырья сложной конфигурации (корне- или клубнеплодами, овощами, фруктами, зерном, почвенными агрегатами). Аналитическое описание такого взаимодействия предполагает представление геометрической конфигурации элементов механической системы математическими функциями. Однако на сегодня не существует универсальных методов описания разнообразных поверхностей ограниченным количеством соотношений, за исключением сферических, цилиндрических или эллипсоидных. Установили принципы исследования характера деформирования элементов механических систем, описанного множеством переменных параметров. Для этого использовали физическую модель почвенной среды, состоящую из почвенных агрегатов сферической конфигурации. Привели принципы численного исследования характера деформирования почвенного агрегата сферической конфигурации под влиянием дискового рабочего элемента почвообрабатывающего орудия при изменении большого количества параметров. Отметили, что исследование систем аналитических моделей второго порядка с переменными коэффициентами в частных производных с множеством входных и выходных параметров может быть эффективно реализовано численными методами с использованием специальных функций *varargin* и *varargout*. Кроме этого, теоретическое значение деформации почвенного агрегата может быть определено численными методами системы *MatLab* с использованием разработанного программного обеспечения. Показали, что предельное значение деформации почвенного агрегата, определенное в лабораторных условиях, следует сравнить с теоретическим и установить необходимые кинематические и конструктивные параметры дискового рабочего элемента и почвообрабатывающего орудия.

Ключевые слова: сельхозмашины, механическая система, дисковый рабочий орган, аналитическая модель, множество переменных параметров.

При выполнении технологических операций сельскохозяйственного производства рабочие элементы машины постоянно или импульсно взаимодействуют с отдельными объектами сырья сложной конфигурации (корне- или клубнеплодами, овощами, фруктами, зерном, почвенными агрегатами). Аналитическое описание такого взаимодействия предполагает представление

конфигурации элементов механической системы математическими функциями. Сегодня не существует универсальных методов описания разнообразных поверхностей ограниченным количеством соотношений, за исключением сферических, цилиндрических или эллипсоидных [1]. Поэтому в зависимости от решаемых задач используют также интерполяционные методы представления по-

верхности любого элемента механической системы по опытным данным ее параметров [2-4].

Цель исследований – определение принципов изучения характера деформирования элементов механических систем, описанного множеством переменных параметров.

Материалы и методы. Наиболее приближенной концепцией почвенной среды принято считать физическую модель, состоящую из почвенных агрегатов сферической конфигурации [5]. Рассмотрим взаимодействие такого агрегата и дискового рабочего элемента почвообрабатывающего орудия, установленного под углом α к направлению движения орудия и под углом β к вертикали (рис. 1). Почвенный агрегат при действии дискового рабочего элемента и земного притяжения приобретает ускорение. При этом частицы почвы, которые движутся быстрее, взаимодействуют с другими, более медленными, которые непрерывно изменяют свою форму и определяют напряженное состояние и деформацию почвенного агрегата.

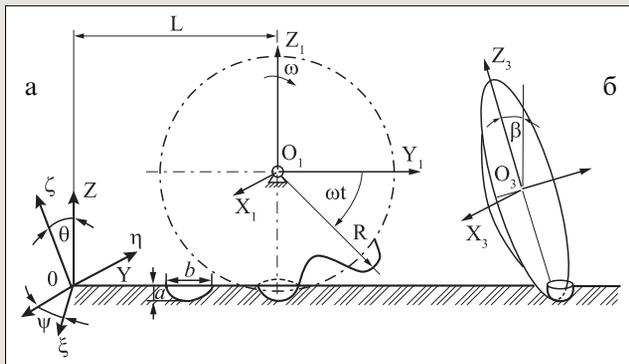


Рис. 1. Схема расположения дискового рабочего органа почвообрабатывающего орудия:

а – вид со стороны оси;

б – вид сбоку; в – вид сверху;

ωt – угол вращения дискового рабочего элемента; α, β – углы Крылова

Схему расположенная дискового рабочего органа на оси почвообрабатывающего орудия (рис. 1) поместим в неинерциальную систему координат $O_1\xi\eta\zeta$ (систему, широко распространенную в теории гироскопов). При этом оси $O_1\xi, O_1\eta, O_1\zeta$ совместим с главными осями инерции. Кроме того, ось $O_1\xi$ направим по линии узлов, то есть по линии пересечения плоскостей $\zeta O_1\xi$ и $Z O_1\xi$. В центре инерции O_1 (рис. 2а) разместим также инерциальную систему координат O_1XYZ так, чтобы ось O_1X была параллельна, а ось O_1Z – перпендикулярна поверхности поля. Символом θ обозначим угол, об-

разованный плоскостями $Z O_1\xi$ и $\zeta O_1\xi$ и ψ – угол между плоскостями $Z O_1X$ и $Z O_1\xi$.

При таком размещении систем отсчета углы θ и ψ будут определять положение неинерциальной системы координат $O_1\xi\eta\zeta$ относительно инерциальной O_1XYZ . Угол собственного вращения φ почвенного агрегата в системе отсчета $O_1\xi\eta\zeta$ отсутствует, поскольку относительно оси $O_1\zeta$ вращается лишь почвенный агрегат.

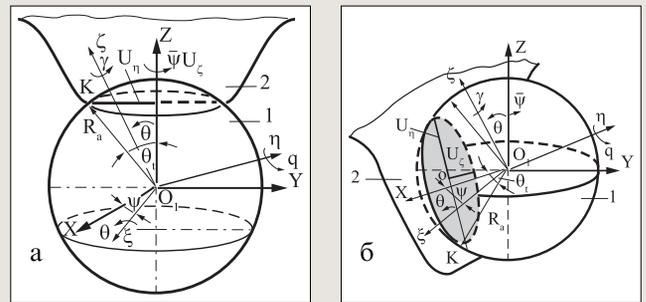


Рис. 2. Схема деформирования почвенного агрегата дисковым рабочим органом:

а – деформирование почвенного агрегата дисковым рабочим элементом; б – боковое деформирование; 1, 2 – почвенный агрегат и дисковый рабочий элемент; U_η, U_ζ, R – компоненты деформации почвенного агрегата по осям $O_1\eta, O_1\zeta$ и его радиус; $O_1XYZ, O_1\xi\eta\zeta$ – инерциальная и неинерциальная системы координат; θt – угол деформации; θ, ψ – углы Эйлера; p, q, r – компоненты угловой скорости вращения почвенного агрегата

Предположим, что под действием дискового рабочего элемента деформирование почвенного агрегата происходит как в плоскости $Z O_1Y$, так и в плоскостях $Z O_1X$ и $X O_1Y$. Аналитическое описание такой деформации представим системами уравнений [6].

В направлении оси $O_1\xi$:

$$\ddot{\theta} = [-2\dot{\theta}\dot{U}_\zeta/U_\zeta - \dot{\theta}^2(ctg\theta\dot{t} - tg\theta\dot{t} + R_a \sin\theta\dot{t}/2U_\zeta) - R\dot{\omega}\sin\omega t \sin\alpha \sin\beta tg\theta\dot{t} / 2U_\zeta - R\omega^2 \cos\omega t \sin\alpha \sin\beta tg\theta\dot{t} / 2U_\zeta + \ddot{L} \sin\alpha \sin\beta tg\theta\dot{t} / 2U_\zeta - g \sin\beta tg\theta\dot{t} / 2U_\zeta] / (1 + R_a \sin\theta\dot{t} tg\theta\dot{t} / 2U_\zeta);$$

$$\ddot{U}_\zeta = -2\ddot{\theta}ctg\theta\dot{t}U_\zeta - 2\dot{\theta}^2U_\zeta(\cos^2\theta\dot{t} - 1) - 4\dot{\theta}U_\zeta ctg\theta\dot{t} - R\dot{\omega}\sin\omega t \sin\alpha \sin\beta - R\omega^2 \times \cos\omega t \sin\alpha \sin\beta + \ddot{L} \sin\alpha \sin\beta - g \sin\beta;$$

$$\dot{\omega} = [-\ddot{\theta}(2ctg\theta\dot{t}U_\zeta - R_a \sin\theta\dot{t}) - \dot{\theta}^2[2U_\zeta(ctg^2\theta\dot{t} - 1) - R_a \cos\theta\dot{t}] - 4\dot{\theta}U_\zeta ctg\theta\dot{t} - R\omega^2 \cos\omega t \sin\alpha \sin\beta + \ddot{L} \sin\alpha \sin\beta - g \sin\beta] / R \sin\omega t \sin\alpha \sin\beta; \quad (1)$$

где $\ddot{\theta}$ – угловое ускорение деформации почвенного агрегата, c^{-2} ;

\ddot{U}_ζ – поступательное ускорение деформации почвенного агрегата, $mm \cdot c^{-2}$;

$\dot{\omega}$ – угловое ускорение вращения дискового рабочего элемента, $rad \cdot c^{-2}$;

\ddot{L} – поступательное ускорение движения орудий, $mm \cdot c^{-2}$.

В направлении оси $O_1\eta$:

$$\begin{aligned} \ddot{\theta} = & [-2\dot{\theta}\dot{U}_\zeta / U_\zeta - \dot{\theta}^2 (ctg\dot{\theta}t - tg\dot{\theta}t + R_a \sin \dot{\theta}t / 2U_\zeta) - \\ & - R\dot{\omega} \sin \omega t \cos \alpha tg\dot{\theta}t / 2U_\zeta - R\omega^2 \cos \omega t \cos \alpha tg\dot{\theta}t / 2U_\zeta + \\ & + \ddot{L} \cos \alpha tg\dot{\theta}t / 2U_\zeta] / (1 + R_a \sin \dot{\theta}t tg\dot{\theta}t / 2U_\zeta); \\ \ddot{U}_\zeta = & -2\ddot{\theta}ctg\dot{\theta}tU_\zeta - 2\dot{\theta}^2 U_\zeta (ctg^2\dot{\theta}t - 1) - \\ & - 4\dot{\theta}\dot{U}_\zeta ctg\dot{\theta}t - R\dot{\omega} \sin \omega t \cos \alpha - \\ & - R\omega^2 \cos \omega t \cos \alpha + \ddot{L} \cos \alpha; \\ \dot{\omega} = & [-\ddot{\theta}(2ctg\dot{\theta}tU_\zeta - R_a \sin \dot{\theta}t) - \\ & - \dot{\theta}^2 [2U_\zeta (ctg^2\dot{\theta}t - 1) - R_a \cos \dot{\theta}t] - \\ & - 4\dot{\theta}\dot{U}_\zeta ctg\dot{\theta}t - R\omega^2 \cos \omega t \cos \alpha + \\ & + \ddot{L} \cos \alpha] / R \sin \omega t \cos \alpha; \\ \ddot{L} = & [\ddot{\theta}(2ctg\dot{\theta}tU_\zeta + R_a \sin \dot{\theta}t) + \\ & + \dot{\theta}^2 [2U_\zeta (ctg^2\dot{\theta}t - 1) + R_a \cos \dot{\theta}t] + \\ & + 4\dot{\theta}\dot{U}_\zeta ctg\dot{\theta}t + R\dot{\omega} \sin \omega t \cos \alpha + \\ & + R\omega^2 \cos \omega t \cos \alpha] / \cos \alpha. \end{aligned} \quad (2)$$

В направлении оси $O_1\zeta$:

$$\begin{aligned} \ddot{\theta} = & [-2\dot{\theta}\dot{U}_\zeta / U_\zeta - \dot{\theta}^2 (ctg\dot{\theta}t - tg\dot{\theta}t + R_a \sin \dot{\theta}t / 2U_\zeta) + \\ & + R\dot{\omega} \cos \omega t \cos \beta tg\dot{\theta}t / 2U_\zeta - R\omega^2 \sin \omega t \cos \beta tg\dot{\theta}t / 2U_\zeta - \\ & - g \cos \beta tg\dot{\theta}t / U_\zeta] / (1 + R_a \sin \dot{\theta}t tg\dot{\theta}t / 2U_\zeta); \\ \ddot{U}_\zeta = & -2\ddot{\theta}ctg\dot{\theta}tU_\zeta - 2\dot{\theta}^2 U_\zeta (ctg^2\dot{\theta}t - 1) - \\ & - 4\dot{\theta}\dot{U}_\zeta ctg\dot{\theta}t + R\dot{\omega} \cos \omega t \cos \beta - R\omega^2 \times \\ & \times \sin \omega t \cos \beta - g \cos \beta; \\ \dot{\omega} = & [\ddot{\theta}(2ctg\dot{\theta}tU_\zeta + R_a \sin \dot{\theta}t) + \\ & + \dot{\theta}^2 [2U_\zeta (ctg^2\dot{\theta}t - 1) + R_a \cos \dot{\theta}t] + \\ & + 4\dot{\theta}\dot{U}_\zeta ctg\dot{\theta}t + R\omega^2 \sin \omega t \cos \beta + \\ & + g \cos \beta] / R \cos \omega t \cos \beta. \end{aligned} \quad (3)$$

Результаты и обсуждение. Исследовать характер взаимодействия элементов механической системы с использованием элементарных функций или квадратур невозможно, поскольку система аналитических моделей (1)-(3) относится ко второму по-

рядку с переменными коэффициентами в частных производных.

В связи с этим воспользуемся численными методами с привлечением программного обеспечения системы *MatLab* [7, 8] по алгоритму:

– привести дифференциальные уравнения второго порядка в частных производных к системе уравнений первого порядка [7, 9];

– разработать на языке *MatLab* программное обеспечение с использованием системы уравнений первого порядка;

– выбрать необходимую программу расчета в системе *MatLab*;

– провести коррекцию программного обеспечения;

– осуществить визуализацию результатов и их анализ.

Поскольку деформирование почвенного агрегата происходит с изменением множества параметров, то декларирование массива памяти по методу, приведенному в [2, 3], невозможно. Поэтому для исследования систем, подобных (1)-(3), разработаем файл-программу, в которой предварительно модернизируем файл-функцию, обозначив ее определенным дескриптором [7, 8]. Сущность модернизации состоит в том, что в программном обеспечении мы продекларировали один элемент массива памяти, в который занесли переменные по списку, определенному специальными функциями *varargin* и *varargout*.

С помощью разработанного программного обеспечения мы получили графические зависимости (рис. 3-5), результаты анализа которых свидетельствуют, что во время движения почвообрабатывающего орудия со скоростью 3,3 м/с деформирование почвенного агрегата радиусом 100 мм рабочим органом с диском радиуса 600 мм, установленным под углом 40° к направлению движения агрегата и под углом 18° к вертикали (рис. 1), характеризуется образованием по направлению оси $O_1\zeta$ волны напряженности, амплитуда которой за 0,0018 с достигает 2,47 мм. При этом скорость деформирования составляет 2,3 м/с (рис. 3а). Через 0,004 с деформирование почвенного агрегата переходит в стационарный режим.

В течение 0,017 с величина деформации достигает 10,8 мм (рис. 3а), при этом скорость деформирования составляет 4,0 м/с (рис. 3б). Одновременно угол деформации увеличивается до 0,96 рад (рис. 3в), а угловая скорость достигает 189,3° рад/с (рис. 3г).

Кроме того, одновременное деформирование почвенного агрегата по направлению осей $O_1\eta$ и $O_1\zeta$ характеризуется увеличением деформации, которая на протяжении 0,017 с при скорости дефор-

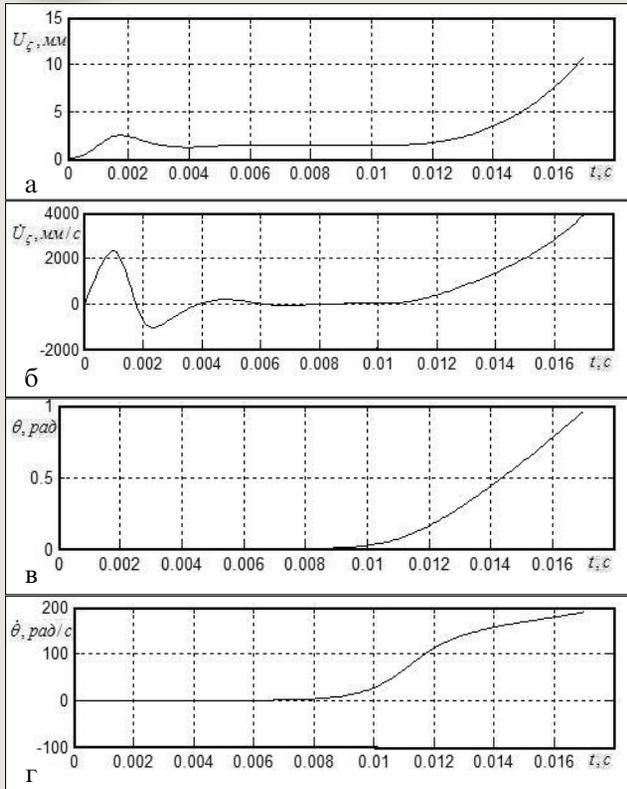


Рис. 3. Характер деформирования почвенного агрегата по оси O_1z : а – перемещение; б – скорость; в – угловой параметр; г – угловая скорость

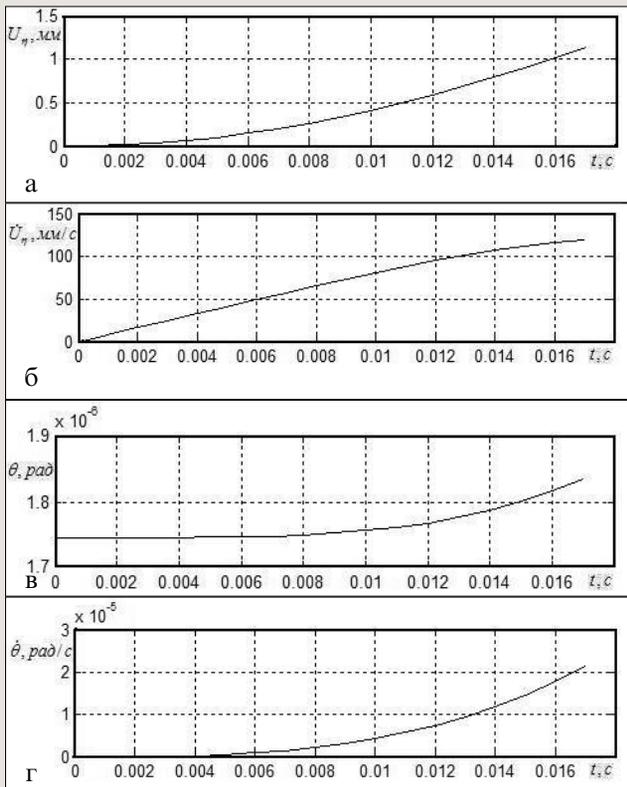


Рис. 4. Характер деформирования почвенного агрегата по оси $O_1\eta$: а – перемещение; б – скорость; в – угловой параметр; г – угловая скорость

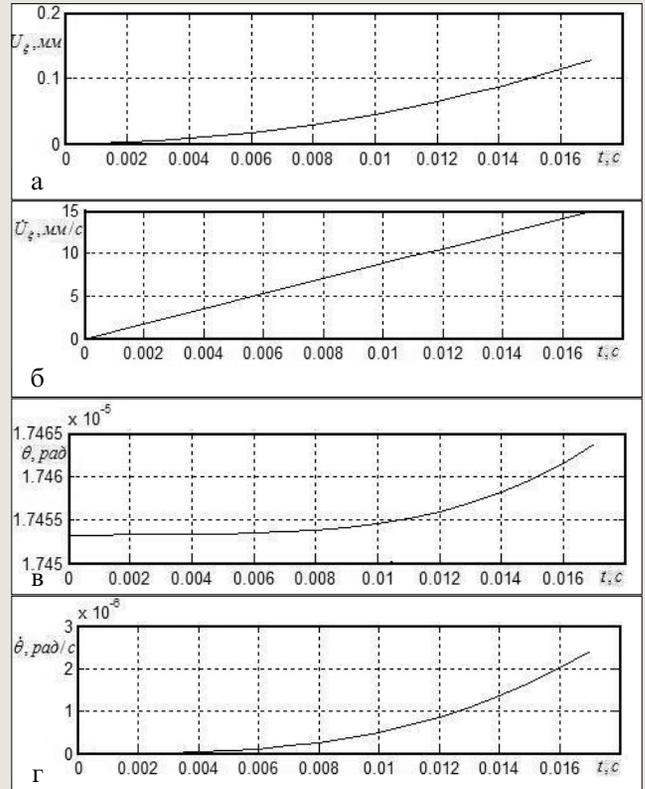


Рис. 5. Характер деформирования почвенного агрегата по оси O_1z : а – перемещение; б – скорость; в – угловой параметр; г – угловая скорость

мирования 0,12 и 0,015 м/с (рис. 4б; 5б), соответственно, составляет 1,1 и 0,13 мм (рис. 4а; 5а). При этом угловые параметры имеют шестой порядок малости (рис. 4в, 4г, 5в, 5г). Увеличение продолжительности действия дискового рабочего элемента на почвенный агрегат по направлению осей $O_1\eta$ и O_1z на протяжении 0,3 с и 0,1 с обуславливает волну напряженности, амплитуда которой составляет 2,47 мм.

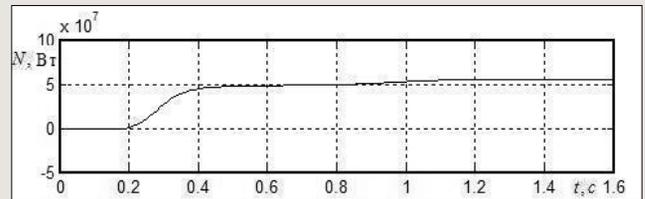


Рис. 6. Изменение мощности деформирования почвенного агрегата

Дальнейшее увеличение кинематических параметров движения почвообрабатывающего орудия и дискового рабочего органа обуславливает рост деформации почвенного агрегата, которое стремится к бесконечности. При этом характер деформирования подобен диаграмме растяжения образца из пластичного материала [10] и с течением времени не изменяется. Мощность деформирования

почвенного агрегата за 0,6 с достигает 50 Вт (рис. 6).

Выводы

1. Исследование систем аналитических моделей второго порядка с переменными коэффициентами в частных производных с множеством входных и выходных параметров может быть эффективно реализовано численными методами с использованием специальных функций *varargin* и *varargout*.
2. Теоретическое значение деформации почвен-

ного агрегата может быть определено численными методами системы *MatLab* с применением разработанного программного обеспечения.

3. Предельное значение деформации почвенного агрегата, определенное в лабораторных условиях, необходимо сравнить с теоретическим и установить необходимые кинематические и конструктивные параметры дискового рабочего органа и почвообрабатывающего орудия.

Литература

1. Бугров Я.С., Никольский С.М. Элементы линейной алгебры и аналитической геометрии. Учебное пособие. М.: Наука, 1984. – 190 с.
2. Роджерс Д. Математические основы машинной графики: Пер. с англ. – М.: Машиностроение, 1980. – 240 с.
3. Роджерс Д. Алгоритмические основы машинной графики: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 504 с.
4. Алберг Дж., Нильсон Э., Уоли Дж. Теория сплайнов и ее приложения: Пер. с англ. – М.: Наука, 1971. – 282 с.
5. Горячкин В.П. Собрание сочинений: В 3 т. – М.: Колос, 1965, 1968. – Т. 1. – 720 с.; Т. 2. – 459 с.
6. Кравчук В.И., Давидюк В.П. До формализа-

ції взаємодії робочого елемента машини та об'єкта сировини сільськогосподарського виробництва // Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України: Зб. наук. праць УкрНДІПВТ. – Дослідницьке, 2013. – С. 55.

7. Ануфриев И.К. Самоучитель Matlab 5/3/6.x. – СПб.: БХВ – Петербург, 2004. – 736 с.
8. Дьяконов В.П. MATLAB 6/5 SP 1/7 Simulink 5/6. Основы применения. Серия. – М.: СОЛОН – Пресс, 2005. – 800 с.
9. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисление. – М.: Наука, 1972. – Т. 1. – 452 с; Т. 2. – 572 с.
10. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. – М.: Наука, 1976. – 608 с.

PRINCIPLES OF RESEARCH OF SOIL PED DEFORMATION AT INTERACTION WITH MACHINE WORKING ELEMENT

V.I. Kravchuk, V.P. Davydyuk

Ukrainian Research Institute of Information Technologies with Applications, Inzhenernaya St., 5, set. Doslidnitskoe, Vasil'kov district, Kiev region, 08654, Ukraine, e-mail: DVP46@yandex.ua

*Working elements of machines constantly or pulsewise interact with some of objects in raw materials with a difficult configuration (a root or tuber crops, vegetables, fruit, grain, soil peds) when performing technological operations in agricultural production. Expression of mechanical system by mathematical functions is needed to describe analytical such interaction. However, there are no universal methods of the description of various surfaces limited by quantity of ratios, except for spherical, cylindrical or ellipsoidal. The authors established the principles of research of deformation behavior of elements of mechanical systems described by a set of variable parameters. Physical model of the soil consisting of spherical peds was used for this purpose. The authors gave the principles of numerical research of deformation behavior of a spherical soil ped under the influence of a disk working element of the soil-cultivating tool at change of a high number of parameters. Research of systems of analytical models of the second order with variable coefficients in partial derivatives with a set of input and output parameters can be effectively realized by numerical methods with use of the special *varargin* and *varargout* functions. Besides, theoretical value of deformation of the soil ped can be determined by numerical methods of *MatLab* system with use of the developed software. It is necessary to compare the limit value of deformation of the soil ped defined in laboratory conditions with theoretical one and to establish required kinematic and design data of a disk working element and the soil-cultivating tool.*

Keywords: Agricultural machines; Mechanical system; Disk working element; Analytical model; Variable parameter set.

References

1. Bugrov Ya.S., Nikol'skiy S.M. *Elementy lineynoy algebrы i analiticheskoy geometrii* [Elements of linear algebra and analytical geometry]. Uchebnoe posobie. Moscow: Nauka, 1984. 190 pp. (Russian).
2. Rodgers, David F. *Matematicheskie osnovy mashinnoy grafiki* [Mathematical Elements for Computer Graphics]. Moscow: Mashinostroenie, 1980. 240 pp. (Russian).
3. Rodgers, David F. *Algoritmicheskie osnovy mashinnoy grafiki* [Procedural Elements for Computer Graphics]. Moscow: Mir, 1989. 504 pp. (Russian).
4. Ahlberg, J., Nilson, E.N., Walsh, J.L. *The theory of splines and their applications*. Moscow: Nauka, 1971. 282 pp. (Russian).
5. Goryachkin V.P. *Sobranie sochineniy: V 3 t.* [Collected works in 3 volumes]. Moscow: Kolos, 1965, 1968. T. 1. 720 pp.; T. 2. 459 pp. (Russian).
6. Kravchuk V.I., Davidiyuk V.P. *Do formalizatsii vzaemodii robochogo elementa mashini ta ob'ekta sirovini sil's'kogospodars'kogo virobnitstva. Tekhniko–tehnologichni aspekti rozvitku ta viprobuvannya novoi tekhniki i tekhnologii dlya sil's'kogo gospodarstva Ukraini: Zb. nauk. prats' UkrNDIPVT. – Doslidnits'ke, 2013. pp. 55 (Ukrainian).*
7. Anufriev I.K. *Samouchitel' Matlab 5/3/6.x* [Self-teacher Matlab 5/3/6.x]. SPb.: BkhV-Peterburg. 2004. 736 pp. (Russian).
8. D'yakonov V.P. *MATLAB 6/5 SP 1/7 Simulink 5/6. Osnovy primeneniya. Seriya* [MATLAB 6/5 SP 1/7 Simulink 5/6. Principles of application. Series]. Moscow: SOLON-Press, 2005. 800 pp. (Russian).
9. Piskunov N.S. *Differentsial'noe i integral'noe ischislenie* [Differential and integral calculus]. Moscow: Nauka, 1972. V. 1. 452 pp.; V. 2. 572 pp. (Russian).
10. Belyaev N.M. *Soprotivlenie materialov* [Strength of materials]. Moscow: Nauka, 1976. 608 pp. (Russian).



Сделано в РОССИИ



УДК 631.333.6



ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАШИННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ОРГАНО-БАКТЕРИАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

ЛИЧМАН Г.И.,
ДОКТ. ТЕХН. НАУК,

МАРЧЕНКО Н.М.,
ДОКТ. ТЕХН. НАУК,

ЕЛИЗАРОВ В.П.,
ДОКТ. ТЕХН. НАУК,
ПРОФЕССОР,

МАРЧЕНКО А.Н.,
СТ. НАУЧ. СОТР.

Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Российская Федерация, e-mail: litchmang@rambler.ru

Рассмотрели вопросы, связанные с решением проблемы обеспечения растений азотом посредством применения азотофиксирующих биопрепаратов. Изложили требования к качеству приготовления органо-бактериальных удобрений на основе компостов и азотофиксирующих биопрепаратов группы Экстрасола. Провели теоретические и экспериментальные исследования по обоснованию возможности применения биопрепаратов совместно с торфо-навозными компостами. Разработали проект технологического процесса и экспериментальную установку для приготовления органо-бактериальной смеси с заданным уровнем качества распределения биопрепарата в компосте. В процессе эксперимента изменяли продолжительность перемешивания от 1 до 12 мин. Установили значения частоты вращения ротора-смесителя: 40, 60, 80 и 100 об/мин. Равномерность распределения биопрепарата в смеси оценивали коэффициентом вариации контрольного элемента, в качестве которого использовали семена сахарной свеклы. Выявили, что качество распределения биопрепарата в массе компоста зависит от частоты вращения ротора-смесителя и времени перемешивания. При фиксированном времени перемешивания с увеличением частоты вращения качество распределения в массе контрольного элемента, оцениваемого коэффициентом вариации, сначала уменьшается, а затем при достижении частоты 65-70 об/мин начинает увеличиваться. На качество распределения положительно влияет также продолжительность перемешивания. При фиксированной частоте вращения ротора-смесителя по истечении 3-4 мин равномерность перемешивания стабилизируется. Определили, что при загрузке в установку до 50 кг смеси (49 кг компоста + 1 кг биопрепарата) коэффициент вариации контрольного элемента, характеризующий качество распределения биопрепарата, составил 10-13 процентов при частоте вращения 65 об/мин и времени перемешивания 3 мин.

Ключевые слова: компост, органо-бактериальные удобрения, установка для инокуляции.

Ежегодный вынос питательных веществ из почв пашни в Российской Федерации в 5 раз превышает их возврат с вносимыми удобрениями. В связи с этим в почве сложился отрицательный баланс питательных веществ: большая часть урожая формируется за счет мобилизации почвенного плодородия без компенсации выносимых с урожаем элементов питания [1-4].

Реальный выход из сложившейся ситуации заключается в разработке агротехнологий, позволяющих повысить накопление «биологического» азота по-

средством возделывания бобовых культур и применения азотофиксирующих биопрепаратов [5].

Сложность разработки вопросов механизации процессов использования бактериальных удобрений предопределяется, с одной стороны, их низкой устойчивостью, а с другой – жесткими требованиями к процессам дозирования и распределения исходных компонентов, обладающих неоднородными физико-механическими и реологическими свойствами.

Разрабатываемый технологический процесс и



технические средства должны обеспечивать равномерное распределение бактериальных смесей массой $m_0 \approx 200-3000$ г в материале-наполнителе (компосте) массой $M_k=15-30$ т. Сформулировать требования к качеству смешивания биопрепарата с компостом можно лишь в том случае, если известны функции отзывчивости той или иной сельскохозяйственной культуры на возрастающие нормы азотфиксирующих биопрепаратов и качество распределения их по полю. Норма биопрепарата определяется с таким расчетом, чтобы микробная нагрузка или титр на единицу площади поля или в одном посадочном месте (в случае локального внесения удобрений при посадке картофеля) не была ниже допустимого уровня [5].

Наряду с нормой биопрепарата при оценке качества выполнения технологического процесса необходимо учитывать и равномерность распределения биопрепарата по всему обрабатываемому полю [6-8].

На основании анализа литературных источников и результатов полевых опытов, проводимых ВИМ [7], в качестве рабочей гипотезы было принято, что урожайность сельхозкультуры, например картофеля, зависит как от дозы вносимого компоста D , так и нормы H или титра T азотфиксирующих микроорганизмов и качества их внесения [9, 10].

Материалы и методы. Аналитические исследования. При выполнении аналитических исследований функция отзывчивости сельскохозяйственной культуры на различные дозы компоста и нормы внесения азотфиксирующих биопрепаратов была представлена в следующем виде:

$$Y = (D, H, a_0, a_1, b_1, b_2), \quad (1)$$

где D – средняя доза внесения компоста, кг/га;

H – норма внесения биопрепарата, кг/га;

a_0, a_1, b_1, b_2 – коэффициенты полинома, получаемые экспериментально.

В случае квадратичной зависимости урожайности сельхозкультуры от D и H среднюю урожайность находим по формуле:

$$\bar{Y} = a_0 + a_1 D + a_2 D^2 \left(\frac{Q_{HD}^2}{10^4} + 1 \right) + b_1 H + b_2 H^2 \left(\frac{Q_{HH}^2}{10^4} + 1 \right) + c(DH + k_{DH}) \quad (2)$$

где Q_{HD}, Q_{HH} – коэффициенты вариации распределения в почве компоста и биопрепарата соответственно; k_{DH} – корреляционный момент.

Из (2) следует, что механизированный техноло-

гический процесс приготовления и внесения органико-минеральных компостов совместно с азотфиксирующими микроорганизмами необходимо характеризовать средней дозой D , нормой H и комплексными показателями неравномерности компоста Q_{HD} и биопрепарата Q_{HH} .

Учитывая, что до сих пор не установлены функции отзывчивости сельскохозяйственных культур на тот или иной вид биопрепарата при совместном использовании их с компостом, вносимым с заданной дозой, мы воспользовались на первом этапе исследований имеющимися данными о допустимых значениях титра под одно посадочное место картофеля. Например, титр азотобактера должен быть не менее $T_{дон}=10^{7.9}$. Из-за неравномерного распределения биопрепарата в компосте, а также компоста по ширине и длине прохода агрегата в каждое посадочное место попадает разное количество компоста, а следовательно, и биопрепарата. Титр его равен:

$$T_{пм} = 10^n m_{бпм}, \quad (3)$$

где $m_{бпм}$ – масса биопрепарата в одном посадочном месте.

При внесении азотфиксирующих биопрепаратов совместно с компостами локально в борозды титр биопрепарата вычисляем по формуле:

$$T_{пм} = k 10^n m_0 = 10^n m_{бпм}, \quad (4)$$

где k – коэффициент, характеризующий количество удобрений, попадающих в зону формирования клубней.

Следовательно, обеспечить заданный титр биопрепарата в одном посадочном месте можно лишь в том случае, если в ходе технологического процесса будет достигнуто необходимое качество распределения гектарной нормы биопрепарата m_0 в массе компоста, вносимого на 1 га, и внесение заданной массы компоста под одно посадочное место.

Непосредственное смешение двух компонентов биопрепарата и компоста, находящихся по массе в соотношении 1:15000 и выше, не представляется возможным. Это объясняется не только тем, что сыпучие материалы наиболее неудобны для смешения, но и тем, что описание процесса смесеобразования весьма специфичны и сложны.

Учитывая это, задачу можно упростить посредством многоступенчатого смешивания. Например, на первой ступени биопрепарат смешивают с балластом $M_б$, а полученную смесь – с остальной массой компоста. В качестве балласта может быть использован вносимый компост, песок или другой сыпучий материал.

Для того чтобы установить, каким же должен быть коэффициент вариации контрольного элемента в смеси, необходимо установить функциональную связь между коэффициентом вариации, характеризующим качество выполнения операций, влияющих на конечный результат, и коэффициентом вариации титра (контрольного компонента) в посадочном месте. Для оценки качества выполнения процесса смешивания биопрепарата с компостом введем следующие коэффициенты вариации: коэффициент вариации биопрепарата в балласте – $Q_{м/Мб}$, балласта в компосте – $Q_{Мб/Мк}$, компоста в посадочном месте – $Q_{Мк/Пм}$.

Коэффициент вариации титра биопрепарата в посадочном месте можно представить в следующем виде:

$$Q_{Т/Пм}^2 = (Q_{Т/Мб}^2 \cdot Q_{Мб/Мк}^2 + Q_{Т/Мб}^2 + Q_{Мб/Мк}^2) \cdot Q_{Мк/Пм}^2 + Q_{Т/Мб}^2 \cdot Q_{Мб/Мк}^2 + Q_{Т/Мб}^2 + Q_{Мб/Мк}^2 + Q_{Мк/Пм}^2 \quad (5)$$

Учитывая, что титр пропорционален массе биопрепарата, с определенной степенью достоверности можно считать, что $Q_{м/Мб} \approx Q_{Т/Мб}$.

Тогда, если узел тонкого смешивания позволяет добиваться равномерного распределения биопрепарата или контрольного элемента в балласте, то есть если $Q_{Т/Мб} \approx Q_{кз} = 0$, выражение для определения коэффициента вариации (5) упрощается и принимает вид:

$$Q_{Т/Пм}^2 = Q_{Т/Мб}^2 \cdot Q_{Мб/Мк}^2 + Q_{Т/Мб}^2 + Q_{Мк/Пм}^2 \quad (6)$$

Анализ выражения (6) показывает, что для достижения необходимого качества распределения титра в посадочном месте необходимо, чтобы коэффициенты вариации, характеризующие качество распределения балласта в массе компоста $Q_{Мб/Мк}$ и компоста в посадочном месте $Q_{Мк/Пм}$ соответствовали условию:

$$Q_{Мб/Мк} \cdot Q_{Мк/Пм} + Q_{Мб/Мк} + Q_{Мб/Мк} \cdot Q_{Т/Пм доп}^2, \quad (7)$$

где $Q_{Т/Пм доп}^2$ – допустимый коэффициент вариации, при котором обеспечивается с заданной вероятностью требуемый титр биопрепарата в посадочном месте.

В каждом конкретном случае коэффициент вариации зависит от требуемого титра $T_{доп}$, то есть $Q_{Т/Пм} = Q_{Т/Пм}(T_{доп})$. Используемые в настоящее время машины (типа РОУ-6 с приспособлением) обеспечивают внесение компоста с коэффициентом вариации $A = Q_{Мк/Пм}$, поэтому для выполнения условия (6) коэффициент вариации массы балласта в компосте должен удовлетворять условию:

$$Q_{Мб/Мк} \leq \sqrt{\frac{Q_{Т/Пм доп}^2 - A^2}{A^2 + 1}} \quad (8)$$

Выражение (8) имеет смысл при $A \leq Q_{Т/Пм доп}$. В противном случае необходимо повышать качество внесения компоста, то есть снижать неравномерность распределения по бороздам и по длине прохода агрегата.

Влиять на величину $Q_{Мб/Мк}$ можно, изменяя величину подачи балласта и компоста в смешительную установку, частоту вращения шнека смесителя и место подачи балласта.

Экспериментальные исследования. Учитывая, что в практике сельскохозяйственного производства нашей страны, а также за рубежом органические удобрения на основе азотфиксирующих биопрепаратов до последнего времени не находили широкого применения, специальную технику для их приготовления и внесения не разрабатывали. В связи с этим на первом этапе решения проблемы создана установка для инокуляции компоста биопрепаратами (рис. 1).

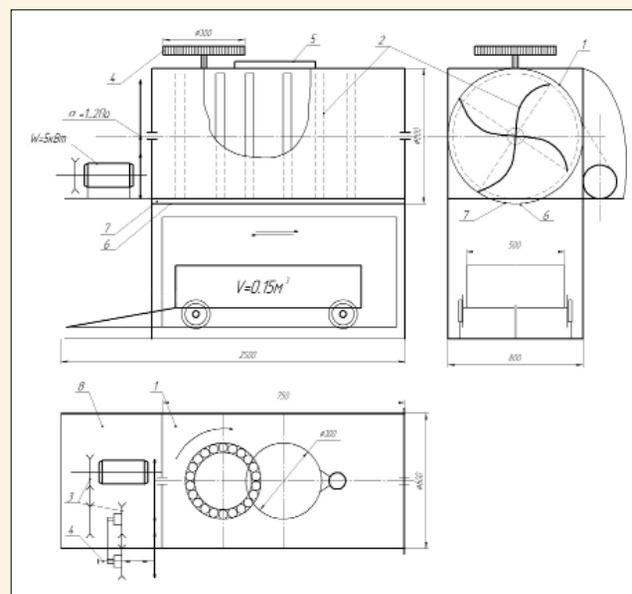


Рис. 1. Конструктивная схема установки для инокуляции компоста биопрепаратами: 1 – барабан смесительный; 2 – ротор-смеситель; 3 – механизм привода; 4 – дозатор; 5 – люк загрузочный; 6 – заслонка шиберная; 7 – окно загрузочное; 8 – рама установки

С целью обоснования режимов работы установки для инокуляции органических удобрений биопрепаратами производство органо-бактериальной смеси осуществляли в лабораторных условиях. Компост массой 49 кг, очищенный от посторонних включений, через загрузочный люк засыпали в установку. Затем с помощью дозатора подавали биопрепарат (1 кг), тщательно смешанный с контрольным



компонентом.

В процессе эксперимента изменяли частоту вращения ротора-смесителя (40, 60, 80 и 100 мин⁻¹) и время перемешивания (от 1 до 12 мин). Частоту вращения ротора-смесителя измеряли тахометром. Клиновременная передача позволяла устанавливать частоту вращения с точностью ±3-5 мин⁻¹. Время перемешивания измеряли с помощью секундомера. Смешивание в каждом режиме осуществляли в трехкратной повторности. После окончания перемешивания открывали шиберную заслонку и выгружали смесь в тележку. Смесь равномерно распределяли по тележке и отбирали 20-50 проб массой 100 г. Затем из каждой пробы выбирали контрольный элемент и рассчитывали коэффициент вариации его в массе смеси. В качестве контрольного элемента были взяты окрашенные в желтый цвет семена сахарной свеклы размером 4-5 мм. Количество семян брали из расчета попадания в пробу готовой смеси 10-20 шт. Учитывая, что плотность контрольного элемента близка к плотности биопрепарата, мы априори считали, что их распределение будет аналогичным. Поэтому о качестве распределения биопрепарата в компосте с определенной степенью точности можно судить по коэффициенту вариации контрольного элемента.

Качество смешивания компонентов оценивали среднеквадратическим отклонением содержания контрольного компонента в пробах, взятых из смеси. Величину среднеквадратического отклонения σ по данным опытов подсчитывали по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{m})^2}{n - 1}}, \quad (9)$$

где x_i – значение случайной величины X в i -м опыте, в нашем случае – содержание контрольного компонента в i -й пробе; \bar{m} – среднее арифметическое наблюдаемых значений величины X в нашем случае – среднее арифметическое содержание контрольных элементов во всех пробах; n – общее число отобранных проб.

Для повышения достоверности опытов при исследовании качества перемешивания необходимо, чтобы масса контрольного элемента в единице массы пробы готовой смеси или количество частиц в случае штучного компонента были не меньше определенной величины $m_{к.к.} \geq m_{к.э.з}$ или $n_{см.пр.} \geq n_{см.пр.з}$.

Пусть n_k – количество контрольного элемента в единице массы балласта. Тогда во всем балласте будет:

$$N_6 = n_k M_{6 \text{ шт.}}, \quad (10)$$

а в единице массы смеси

$$N_{см} = \frac{n_k M}{M_k + M_6}, \quad (11)$$

где N_6 – количество контрольного элемента во всей биомассе;

M_6 – масса балласта;

M – общая масса (балласт+ контрольный элемент);

$M_{шт}$ – масса единицы контрольного компонента.

Если мы отбираем пробу, равную n , то количество контрольного компонента при идеальном перемешивании будет равно:

$$N_{пр} = \frac{n_k M}{M_k + M_6} m_{шт.} \quad (12)$$

Принимая во внимание (12), получим ограничение на количество (шт.) контрольного компонента в единице массы балласта:

$$n \geq n_{см.пр.з} (M_k + M_6) / M_6. \quad (13)$$

Например, если мы хотим, чтобы в единице массы $n_{см.пр.з} = 10$ шт., а $M_k = 1000$ кг и $M_6 = 100$ кг, то $n \geq 110$ шт.

Результаты и обсуждение. В ходе обработки экспериментальных данных установлено, что качество распределения биопрепарата в массе компоста зависит от частоты вращения ротора-смесителя и времени перемешивания. При фиксированном времени перемешивания с увеличением частоты вращения качество распределения контрольного элемента, оцениваемого коэффициентом вариации, сначала уменьшается, а затем при достижении частоты 65-70 мин⁻¹ начинает увеличиваться (рис. 2).

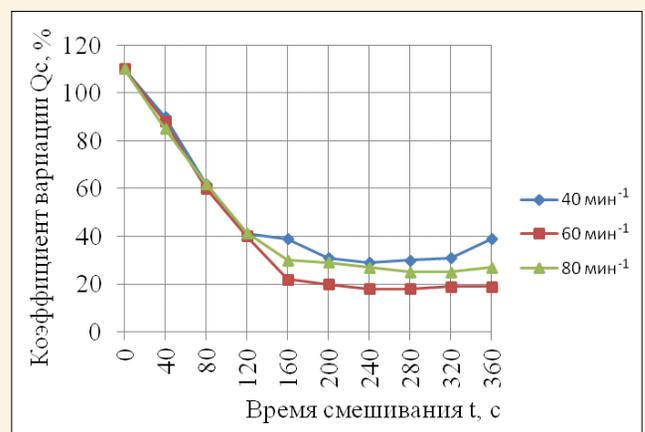


Рис. 2. Изменение коэффициента вариации биопрепарата в зависимости от продолжительности процесса смешивания и частоты вращения ротора

Это можно объяснить тем, что, несмотря на то, что плотность контрольного элемента близка к плотности компоста, с ростом частоты вращения начинают сильнее проявляться центробежные силы и происходит сегрегация контрольного элемента. Время также влияет на качество перемешивания.



ния. При фиксированной частоте вращения ротора-смесителя с увеличением продолжительности времени перемешивания равномерность распределения улучшается. Затем по истечении 3-4 мин она начинает стабилизироваться с незначительным отклонением $\pm 2-3\%$ от некоторого среднего значения, которое зависит от частоты вращения.

Проверка опытного образца выявила, что при загрузке в установку до 50 кг смеси (49 кг компоста +1 кг биопрепарата) коэффициент вариации распределения контрольного элемента составил 10-13% при частоте вращения 65 мин⁻¹ и времени перемешивания 3 мин.

Продолжительность процесса смешивания t_c компоста с биопрепаратом для получения смеси с заданным коэффициентом вариации Q_c можно определить по кинетике смешивания для конкретных условий, ориентируясь на достижение нижнего порога изменчивости Q_c . Применительно к коэффициенту вариации уравнение кинетики смешивания можно представить в следующем виде:

$$Q_c(t) = Q_{Ca} + (Q_{Co} - Q_{Ca}) e^{-t/\tau}, \quad (14)$$

где $Q_c(t)$ – текущее значение коэффициента вариации концентрации контрольного компонента в пробах;

Q_{Co}, Q_{Ca} – начальное и конечное значения концентрации;

τ – коэффициент пропорциональности, имеющий размерность времени и характеризующий интенсивность процесса смешивания, состояние и способность компонентов к смешиванию.

Для рассматриваемого случая уравнение кинетики смешивания имеет вид:

$$Q_c(t) = 13 + 97e^{-t/95,1}.$$

Выводы. Исследования на лабораторно-полевой установке показали, что качество распределения биопрепарата в компосте, оцениваемое коэффициентом вариации контрольного элемента в смеси, зависит от продолжительности перемешивания и частоты вращения ротора-смесителя.

Варьируя перечисленные факторы, можно изменять уровень распределения контрольного компонента в смеси на выходе из установки. Определено, что при загрузке в установку до 50 кг смеси (49 кг компоста +1 кг биопрепарата) коэффициент вариации контрольного элемента, характеризующий качество распределения биопрепарата, составил 10-13% при частоте вращения 65 мин⁻¹ и времени перемешивания 3 мин.

Литература

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: Сб. докл. XII Междунар. науч.-техн. конф. Ч. I. – М.: ВИМ, 2012. – С. 31-44.

2. Кондратов А.Ф., Лобачевский Я.П., Логин А.Д. Современные технологии и средства механизации обработки почвы, посева, посадки, внесения удобрений и защиты растений. – Новосибирск: НГАУ, 2002. – 248 с.

3. Сычев В.Г., Афанасьев Р.А., Личман Г.И., Марченко Н.М. Методика отбора почвенных проб по элементным участкам поля в целях дифференцированного применения удобрений. – М.: ВНИИА, 2007. – 36 с.

4. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Система машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации сельскохозяйственного производства на период до 2020 года // Сель-

скохозяйственные машины и технологии. – 2013. – № 6. – С. 6-10.

5. Доросинский Л.М. Бактериальные удобрения – дополнительное средство повышения урожайя. – М.: Россельхозиздат, 1965. – 170 с.

6. Елизаров В.П., Антышев Н.М., Бейлис В.М., Шевцов В.Г. Исходные требования на технологические операции в растениеводстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2011. – № 1. – С. 11-14.

7. Измайлов А.Ю., Личман Г.И., Марченко Н.М. Точное земледелие – проблемы и пути решения // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2010. – № 5. – С. 9-14.

8. Личман Г.И. Основные принципы и перспективы применения точного земледелия. – М.: ВИМ, 2004. – 79 с.

9. Личман Г.И., Марченко Н.М. Механика и технологические процессы применения органических удобрений. – М.: ВИМ, 2001. – 336 с.

10. Измайлов А.Ю., Марченко Н.М., Личман Г.И. Перспективы механизации применения органических удобрений // Техника и оборудование для села. – 2010. – № 3. – С. 9-11.



JUSTIFICATION OF PARAMETERS OF MACHINE TECHNOLOGY OF ORGANO-BAKTERIAL FERTILIZERS PREPARATION

G.I. Lichman, N.M. Marchenko, A.N. Marchenko

All-Russia Research Institute of Mechanization for Agriculture, 1st Institutskiy proezd, Moscow, 109428, Russian Federation, e-mail: litchmang@rambler.ru

Questions connected with a solution of a problem of providing plants with nitrogen by means of nitrogen-fixing biological preparations application were considered. Requirements to quality of organo-bacterial fertilizers preparation on the basis of composts and the nitrogen-fixing biological preparations of Extrasol group were stated. Theoretical and experimental researches for justification of possibility of biological products application together with peat-manure composts were conducted. A project of technological process and experimental facilities for organo-bacterial mix preparation with a set quality level of biological product distribution in compost were developed. In the course of experiment the time length of mixing was modified from 1 to 12 min. There were set the values of rotation frequency of a rotor mixer: 40, 60, 80 and 100 rpm. Uniformity of biological product distribution in the mix was estimated by coefficient of a variation of a control element for which sugar beet seeds were used. It was revealed that quality of biopreparation distribution in the compost mass depends on the rotor mixer rotation frequency and time length of mixing. At the constant mixing time with increase in frequency of rotation quality of distribution in the mass of the control element estimated by variation coefficient at first decreases, and then at achievement of the frequency of 65-70 rpm it starts to increase. Quality of distribution is influenced positively also by time length of mixing. With the constant frequency of rotor mixer rotation uniformity of mixing was stabilized after 3-4 min. When facilities loading to 50 kg of mix (49 kg of compost +1 kg of a biological product) the coefficient of a control element variation characterizing distribution quality made 10-13 percent with a frequency of rotation of 65 rpm and time of mixing of 3 min.

Keywords: Compost; Organo-bacterial fertilizers; Inoculating machine.

References

1. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. *Innovatsionnye mekhanizirovannye tekhnologii i avtomatizirovannye tekhnicheskie sistemy dlya sel'skogo khozyaystva [Innovative mechanized technologies and the automated technical systems for agriculture]. Modernizatsiya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na baze innovatsionnykh mashinnykh tekhnologiy i avtomatizirovannykh sistem: Sb. dokl. XII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Ch.I. Moscow: VIM, 2012. pp. 31-44 (Russian).*
2. Kondratov A.F., Lobachevskiy Ya.P., Login A.D. *Sovremennye tekhnologii i sredstva mekhanizatsii obrabotki pochvy, poseva, posadki, vneseniya udobreniy i zashchity rasteniy. [Modern technologies and means of mechanization for soil cultivation, sowing, planting, fertilization and crop protection] Novosibirsk: NGAU, 2002. 248 pp. (Russian)*
3. Sychev V.G., Afanas'ev R.A., Lichman G.I., Marchenko N.M. *Metodika otbora pochvennykh prob po elementnym uchastkam polya v tselyakh differentsirovannogo primeneniya udobreniy [Technique of soil tests selection in element sites of a field for the differentiated fertilizers application]. Moscow: VNIIA, 2007. 36 pp. (Russian).*
4. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. *Sistema mashin i tekhnologiy dlya kompleksnoy mekhanizatsii i avtomatizatsii sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na period do 2020 goda [System of machinery and technologies for integrated mechanization and automation of agricultural production for the period till 2020]. Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii. 2013. No. 6. pp. 6-10 (Russian).*
5. Dorosinskiy L.M. *Bakterial'nye udobreniya – dopolnitel'noe sredstvo povysheniya urozhaya [Bacterial fertilizers are an additional agent for yield increase]. Moscow: Rossel'khozizdat, 1965. 170 pp. (Russian).*
6. Elizarov V.P., Antyshev N.M., Beylis V.M., Shevtsov V.G. *Iskhodnye trebovaniya na tekhnologicheskie operatsii v rastenievodstve [Initial requirements of technological operations in plant growing]. Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii. 2011. No. 1. pp. 11-14 (Russian).*
7. Izmaylov A.Yu., Lichman G.I., Marchenko N.M. *Tochnoe zemledelie – problemy i puti resheniya [Precision agriculture: problems and solutions]. Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii. 2010. No. 5. pp. 9-14 (Russian).*
8. Lichman G.I. *Osnovnye printsipy i perspektivy primeneniya tochnogo zemledeliya [Basic principles and prospects of use of precision agriculture]. Moscow: VIM, 2004. 79 pp. (Russian).*
9. Lichman G.I., Marchenko N.M. *Mekhanika i tekhnologicheskie protsessy primeneniya organicheskikh udobreniy [Mechanics and technological processes of organic fertilizers application]. Moscow: VIM, 2001. 336 pp. (Russian).*
10. Izmaylov A.Yu., Marchenko N.M., Lichman G.I. *Perspektivy mekhanizatsii primeneniya organicheskikh udobreniy [Prospects of mechanization of organic fertilizers application]. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2010. No. 3. pp. 9-11 (Russian).*

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 внутрискочные 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 надо. 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. Необходимо применять следующие слова: исследовали, провели, показали, доказали, установили, получили. 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;
- 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 2016

**КАК
подписаться
на журнал?**



ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

Подписку на второе полугодие 2016 г. можно оформить
до 20 июня включительно
в почтовых отделениях связи
по каталогу агентства «РОСПЕЧАТЬ»
Подписной индекс **35825**

ЖУРНАЛ

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

Редакция журнала:

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

E-mail: smit@vim.ru