



Сельскохозяйственные МАШИНЫ и ТЕХНОЛОГИИ

№ 5 2016

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ и ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЖУРНАЛ

ГИБРИДНАЯ ТЕОРИЯ КИНЕМАТИКИ ПОВОРОТА
РОБОТИЗИРОВАННЫХ
ТЯГОВО-ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ ОСВЕЩЕНИЯ НА РАЗВИТИЕ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР



Трактор АГРОМАШ 180 ТК

ЗОЛОТАЯ ОСЕНЬ ВДНХ – 2016

На выставке среди разработок в области механизации сельского хозяйства была представлена новейшая техника Всероссийского научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства.



Руководители ФАНО Котюков М.М. и Багиров В.А. по достоинству оценили работу ВИМ в области механизации сельского хозяйства. Котюков М.М. признал первенство ученых ВИМ в деле разработки сельхозтехники нового поколения, продвижения новейших машин в сельское хозяйство страны.

Заместитель Министра сельского хозяйства РФ Громько Е.В. с интересом ознакомился с новинками техники, представленной институтом ВИМ. Он отметил важность работы ученых в деле расширения импортозамещения сельскохозяйственной техники в хозяйствах страны.



Выставку посетил помощник Президента РФ Фурсенко А.А. Директор ВИМ академик Измайлов А.Ю. представил Фурсенко А.А. экспонаты ВИМ. При осмотре выставки Фурсенко А.А. отметил необходимость внедрения новейших разработок ВИМ в сельское хозяйство страны.



Достижения ВИМ были отмечены - 11-ю медалями выставки «Золотая осень – 2016»





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

И.М. Куликов, академик РАН,
ВСТИСП, Москва

Ю.Ф. Лачуга, академик РАН,
Москва

Э.И. Липкович, академик РАН,
АЧИИ ДГАУ, зерноград

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

В.И. Черноиванов, академик РАН,
ГОСНИТИ, Москва

ИНОСТРАННЫЕ ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

В.И. Кравчук, член-корр. НААН

Украины, Киев

Ж.С. Садыков, д.т.н., проф.,

НИИ АИПИИТ, 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

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ

Горин Г.С., Годжаев З.А., Головач В. М., Кузьмин В.А.

Исследования поворачиваемости трактора для построения
гибридной теории поворота 3

Хамуев В.Г.

Интенсивность выделения легкой примеси в вертикально
восходящем воздушном потоке 12

Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И.

Теоретические и технологические аспекты работы
рыхлительного рабочего органа 17

Тертышная Ю.В., Левина Н.С.

Влияние спектрального состава света на развитие
сельскохозяйственных культур 24

Евтюшенков Н.Е., Крюков М.Л., Шилова Е.П., Власова С.В.

Технология и техника для уборки и транспортировки зерна
в селекции и первичном семеноводстве 30

Дадыко А.Н.

Расчет параметров подсушки растительного сырья 36

НАУКА ПРОИЗВОДСТВУ

Мечкало Л.Ф., Мечкало А.Л.

Инновационная концепция разработки и производства
перспективных моделей тракторов эконом-класса 41

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

Норчаев Д.Р.

Энергосберегающий картофелекопатель 44

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 № ФЦ77-27860
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
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
Chernoivanov V.I. – 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 ISSUE:

Bizhaev V.V.
Grishutkina S.V.
Nurbagandova R.M.

EDITORS OFFICE'S ADDRESS

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

Printed by FSBSI VIM
Russian Academy of Science

The journal is included in the Russian
Index of Scientific Citation (RISC).
Full texts of articles are placed on the
website of electronic library: elibrary.ru

The format is 205 × 290 mm
Passed for printing 15.09.2016
The circulation is 500 copies

CONTENTS

NEW TECHNICS AND TECHNOLOGIES

- G.S. Gorin¹, Z.A. Godzhaev, V.M. Golovach, V.A. Kuz'min**
Research of tractor turnability for construction of hybrid theory of turn . 3
- V.G. Khamuev**
Intensity of light impurities separation in vertically ascending air flow . . 12
- Ya.P. Lobachevskiy, S.I. Starovoytov**
Theoretical and technological aspects of ripper working tools operation 17
- Yu.V. Tertyshnaya, N.S. Levina**
Effect of light spectrum on crops growth 24
- N.E. Evtyushenkov, M.L. Kryukov, E.P. Shilova, S.V. Vlasova**
Technology and equipment for harvest and transportation of grain in
selection and primary seed breeding 30
- A.N. Dadyko**
Calculation of parameters of vegetable raw materials subdrying 36

SCIENCE FOR PRODUCTION

- L.F. Mechkalo, A.L. Mechkalo**
Innovative concept of design and production of perspective models of
tractors of economy class 41

FOREING EXPERIENCE

- D.R. Norchaev**
Energy saving potatoes digger 44

*The journal 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.

УДК 629.3.014.2.072

DOI 10.22314.2073-7599-2016.5.3-11

ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВОРАЧИВАЕМОСТИ ТРАКТОРА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ГИБРИДНОЙ ТЕОРИИ ПОВОРОТА

Горин Г.С.¹, докт. техн. наук;
Годжаев З.А.^{2*}, докт. техн. наук;

Головач В. М.³;
Кузьмин В.А.²

¹Государственный комитет по науке и технологиям, ул. Академическая, 1, Минск, 220072, Республика Беларусь,

²Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Российская Федерация, *e-mail: fic51@mail.ru

³Белорусский государственный аграрный технический университет, проспект Независимости, 99, к. 2, г. Минск, 220023, Республика Беларусь

Одним из основных и функционально сложных видов движения колесных мобильных тягово-транспортных средств (ТТС) – автомобилей, тракторов, самоходных шасси, вездеходов – является поворот. В данной работе рассмотрены расчетно-экспериментальные вопросы кинематики поворота ТТС, выбраны расчетные схемы поворота полноприводной ходовой системы, сформированы модели кинематического увода колес. Экспериментально исследованы поворот трактора без и с тяговой нагрузкой при отключенном и включенном приводе ведущего моста. Результаты расчетно-экспериментальных исследований и полученные математические модели поворота машины позволяют повысить точность заданной траектории и ввести коррективы в движение машинно-тракторного агрегата, снизить радиус поворота. Показали, что при круговом повороте с тяговой нагрузкой 12 кН смещение центра скоростей назад за задний ведущий мост у трактора с межосевым блокированным приводом равно 2,9 м и коэффициент кинематического несоответствия – 1,05, в то время как с межосевым дифференцированным приводом эти величины равны 1,03 и 0,93 соответственно. При этом радиусы поворота у тракторов с различными приводами отличаются незначительно – 6,5 и 6,7 соответственно. Отмечено что у ТТС на оболочковых шинах без тяговой нагрузки продольная координата центра скоростей смещена назад от оси вращения колес на 0,15 м, передние колеса перемещаются под углами бокового увода 5,0 и 7,8 градуса, углы кинематического увода малы и приближаются к 0. При круговом повороте с тяговой нагрузкой смещение центра скорости назад за ось заднего ведущего моста составляет 1,8 и 0,9 м, углы кинематического увода находятся в пределах 5-10 градусов; углы бокового увода – минус 5 и минус 7 градусов.

Ключевые слова: тягово-транспортное средство, передний и задний ведущие мосты, межосевой блокированный и дифференциальный приводы, межколесный дифференциал, углы увода колес. DOI 10.22314.2073-7599-2016.5.3-11

Для цитирования: Горин Г.С., Годжаев З.А., Головач В. М., Кузьмин В.А. Исследования поворачиваемости трактора для построения гибридной теории поворота // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. №5. С. 3-11.

RESEARCH OF TRACTOR TURNABILITY FOR CONSTRUCTION OF HYBRID THEORY OF TURN

G.S. Gorin¹, Dr. Sci. (Eng.);
Z.A. Godzhaev^{2*}, Dr. Sci. (Eng.);

V.M. Golovach³;
V.A. Kuz'min²

¹State Committee on Science and Technology of the Republic of Belarus, Akademicheskaya St., 1, Minsk, 220071, Republic of Belarus

²All-Russia Research Institute of Mechanization for Agriculture, 1st Institutskiy proezd, 5, Moscow, 109428, Russian Federation, *e-mail: fic51@mail.ru

³Belarusian State Agrarian Technical University, prospekt Nezavisimosti, 99, build 2, Minsk, 220023, Republic of Belarus

Turn is one of the main and functionally difficult types of the movement of the wheel mobile traction and transportation vehicles (TTV): cars, tractors, self-propelled chassis, all-terrain vehicles. Settlement and experimental questions of kinematics of TTV turn are considered, settlement schemes of turn of all-wheel drive running system are chosen, models of

kinematic wheel slip are created. Turn of a tractor without and with traction loading at the switched-off and switched on gear sistem of driving axle is experimentally investigated. Results of settlement pilot studies and the received mathematical models of turn of the machine make it possible to increase the accuracy of the set trajectory of the movement and to make adjustments of the machine and tractor unit movement, to reduce turn radius. At circular turn with traction load of 12 kN speeds center moving back behind driving axle of a tractor with the interaxial blocked drive equals 2.9 m, and coefficient of a kinematic discrepancy is 1.05 while with the interaxial differentiated drive these sizes are equal 1.03 and 0.93 respectively. Thus radiuses of turn of tractors with various drives differ insignificantly: 6.5 and 6.7 respectively. It is noted that at TTV on shell tires without traction loading the longitudinal coordinate of the speeds center is displaced from an axis of wheels rotation by 0.15 m back, side slip angle of forward wheels moving equals plus of 5.0 and plus of 7.8 degrees, kinematic wheel slips come nearer to 0. At circular turn with traction loading the speeds center moving back behind an axis of the back driving axle makes minus of 1.8 m and minus of 0.9 m, angles of kinematic moving within 5-10 degrees; angles of side moving are equal minus 5 and minus 7 degrees.

Keywords: Traction and transportation vehicle; Forward and back driving axles; Interaxial blocked and differential drives; Inter-wheel differential; Wheel slip angle. DOI 10.22314.2073-7599-2016.5.3-11

■ **For citation:** Gorin G.S., Godzhaev Z.A., Golovach V.M., Kuz'min V.A. Research of tractor turnability for construction of hybrid theory of turn. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016; 5: 3-11. (In Russian)

Активное развитие сельского хозяйства богатых природными ресурсами территорий России формирует устойчивое превышение спроса над предложением рабочей силы. В такой ситуации автоматизация транспортно-технологических процессов является прорывной технологией. В связи с этим выполненные исследования по теории поворота мобильных машин могут быть эффективно использованы при роботизации и автоматизации мобильных энергетических средств АПК [1-2].

В рамках развития современных машинных технологий сельскохозяйственного производства на базе энергонасыщенных тракторов мощностью 250-450 л.с. создают комбинированные машинно-тракторные агрегаты (МТА). Особенности МТА: рабочая ширина захвата – до 6,5 м, кинематическая длина – до 17-18 м, большой удельный вес полуприцепных сельскохозяйственных машин, создающих тяговое сопротивление на повороте [1-5].

Это привело к увеличению ширины поворотной полосы до $B=40-50$ м. Чтобы снизить этот показатель, по мере прохождения рабочего гона поочередно выглубляют первый, второй и последующие корпуса плуга. Данные операции повторяются автоматически, то есть достигается роботизация вспомогательных процессов. Однако на практике вследствие бокового скольжения и увода колес под действием сил инерции массы агрегата фактический радиус траектории агрегата R_{ϕ} при заданном угле поворота α управляемых колес больше расчетного на ΔR , значение которого зависит от конструкции движителей, скорости движения и углов увода колес. Для точного воспроизведения траектории пахотного МТА в алгоритмах управления следует учесть углы увода МТА, вызванные работой межколесного дифференциального (МКД) и межколесного блокированного и дифференциального при-

водов (МБП и МДП) при движении в сложных условиях: на косогорах, малых площадках.

Созданные теории поворота не позволяют решать многие прикладные задачи эксплуатации техники в таких условиях. Аналогичная ситуация складывается при управлении мобильными роботами [6-8].

Цель работы – на основе расчетно-экспериментальных исследований создать гибридную теорию поворота полноприводных роботизированных тягово-транспортных средств.

Материалы и методы. Основные свойства тягово-транспортного средства (ТТС) – тяговая динамика, курсовая устойчивость (КУ), поворачиваемость и управляемость (способность поворачиваться на малых радиусах, преодолевая тяговое сопротивление). Признано, что если многоосное ТТС имеет высокие тяговый КПД и КУ (что достигается путем блокировки межколесного и межосевого приводов), то показатели поворачиваемости при этом ухудшаются [6, 7, 9-11].

Результаты и обсуждение. 1. *Кинематические характеристики поворота МТА.* Существенными характеристиками агрегата, определяющими его кинематику, являются следующие: кинематическая длина l_k – проекция расстояния между центром агрегата и линией расположения наиболее удаленного рабочего органа при прямолинейном движении и кинематическая ширина d_k – проекция расстояния между продольной осью агрегата, проходящей через его центр и наиболее удаленной от этой оси точкой агрегата (рис. 1).

Экспериментальные исследования круговой поворачиваемости трактора «Беларус 2522» показали, что даже при небольшой тяговой нагрузке $P_{кр}=24$ кН его углы увода колес и продольное смещение центра скоростей назад за ось заднего ведущего моста (ЗВМ) достигали соответственно 30° и



Экспериментальные данные о показателях кругового поворота трактора-установки [6] ($\alpha_{12}=22^\circ$) С КОЛЕСАМИ РАВНОГО РАЗМЕРА 10/11-28 EXPERIMENTAL DATA ABOUT INDICATORS OF TRACTOR CIRCULAR TURN [6] ($\alpha_{12}=22^\circ$) WITH WHEELS OF EQUAL SIZE 10/11-28											
$^1\lambda_{П}$	2K_V	$^3P_{КР}, \text{кН}$	$^4\gamma, \text{град}$	$X, \text{м}$	R	R_1	R_2	R_3	R_4	R_1-R_4	$^5\varphi, \text{град}$
0,4	1,05	0	0	-1,055	6,25	7,88	6,41	7,16	5,51	2,27	-(9-10)
		12	9,7	-2,857	6,68	9,16	7,84	8,04	6,50	2,66	-17
	0,93	0	0	-0,318	6,72	8,03	6,47	7,57	5,99	2,04	-3,0
		8	7,2	-1,052	7,85	9,34	7,81	8,75	7,09	2,25	-(4-5)
	МДП (1,07)	0	0	-0,092	6,04	7,31	5,76	6,88	5,22	2,09	-(1,6-4,6)
	МДП (1,07)	12,8	8,4	-1,024	6,50	8,09	6,60	7,41	5,75	2,34	-3,5
0,6	1,05	0	0	+1,19	6,00	6,96	5,26	6,93	5,30	1,66	+(7-10)
		12	14,2	-0,403	6,99	8,31	6,75	7,84	6,14	2,17	+1,5
	0,93	0	0	+0,833	6,14	7,15	5,52	7,03	5,37	1,78	+(5-6)
		12,26	13,6	+0,484	6,87	8,22	6,68	7,72	6,05	2,17	-(1-8)
	МДП (1,07)	0	0	-0,032	6,23	7,47	5,91	7,07	5,39	2,08	-(2,0-3,0)
	МДП (1,00)	13,86	8,4	-2,32	7,16	9,24	7,88	8,24	6,73	2,51	-(11-14)

$^1\lambda_{П}$ – доля веса трактора, приходящаяся на передние колеса в статике / tractor weight share falling on forward wheels in statics;
 2K_V – кинематическое несоответствие в межосевом приводе / kinematic discrepancy in interaxial drive;
 $^3P_{КР}$ – тяговая нагрузка / tractive load
 R, R_1, R_2, R_3, R_4 – радиус поворота, град. / turn radius, degrees;
 $^4\gamma$ – углы отклонения линии тяговой нагрузки от продольной оси трактора / angles of deviation of traction loading line from tractor longitudinal, degrees
 $^5\varphi$ – углы разворота корпуса трактора вокруг полюса трения / angle of tractor body turn round friction pole, degrees

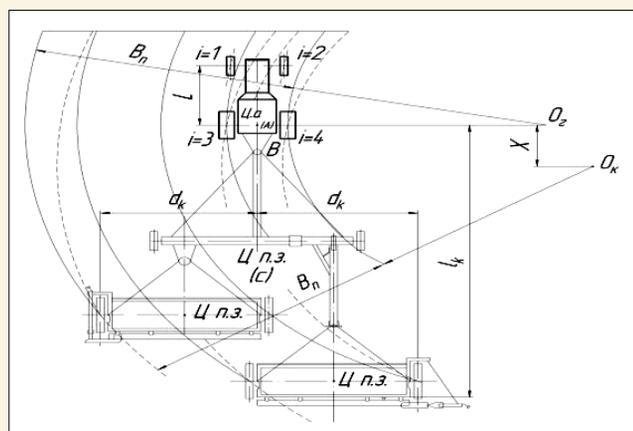


Рис. 1. Траектории поворота МТА вокруг: — геометрического центра поворота; - - - - - кинематического центра (с учетом увода колес)

Fig. 1. Trajectories of turn of MTA around: — geometrical center of turn; - - - - - kinematic center (taking into account wheel slip)

$X=5,4$ м, что значительно больше колесной базы трактора, равной 3 м. Но даже при повороте без тяговой нагрузки углы кинематического увода задних колес велики из-за возникновения отрицательных тангенциальных сил на передних.

Аналогичные результаты получены в экспериментах, выполненных в Нечерноземной зоне России [12]. В таблице приведены экспериментальные данные о круговой поворачиваемости трактора-установки с МБП и кинематическим несоответстви-

ем межосевого привода при коэффициентах кинематического несоответствия $K_V=1,05$ и $K_V=0,93$, а также с межосевым дифференцированным приводом (МДП) [6]. При повороте с тяговой нагрузкой $P_{КР}=12$ кН радиус поворота $R=6,5$ м трактора – установки с МДП и $K_V=1,07$ несущественно отличается от радиуса поворота $R=6,7$ м трактора – установки с МБП и $K_V=1,05$.

Существенно отличались значения смещения центра скоростей назад за задний ведущий мост (ЗВМ) в двух случаях: у трактора с МБП и $K_V=1,05$, $X=-2,9$ м и у трактора с МДП и $K_V=0,93$, $X=-1,03$ м. Положительные значения угла разворота корпуса и смещения центра скоростей (вперед) достигнуты лишь в экспериментах на тракторе с большей долей нагрузки $\lambda_{П}=0,6$ на передние колеса, чем на задние, МБП и $K_V=0,93$ (с нагрузкой и без нее). При этом к передним колесам приложены большие положительные боковые реакции, направленные к центру скоростей, что характерно и при $\lambda_{П}=0,6$ и МДП (без нагрузки). При повороте трактора с $\lambda_{П}=0,6$ и МДП с тяговой нагрузкой разгруженные задние колеса катятся с большими отрицательными углами увода, что смещает центр скоростей назад.

Большое продольное смещение центра скоростей назад за ось ЗВМ, вызванное уводом колес, приводит к большой разнице радиусов поворота R_1-R_4 передних и задних колес, а следовательно, к увеличению ширины транспортного коридора и поворотной полосы.

На траекторию поворота МТА существенно влияют углы боковых уводов i -колес, а также кинематический угол увода φ , вызванные работой МКД:

$$\varphi_{Bi} = \frac{P_{Bi}}{K_{yi}}, \quad (1)$$

где P_{Bi} и K_{yi} – соответственно боковая сила, приложенная к i -колесу, и коэффициент сопротивления боковому уводу. При повороте без буксования колес:

$$\omega_{Bi} R_i = \omega_{Gi} r_{Ki}^\circ, \quad (2)$$

где ω_{Bi} и ω_{Gi} – угловые скорости поворота i -колес соответственно вокруг вертикальной и горизонтальной осей, r_{Ki}° – радиус качения колеса в свободном режиме, R_i – радиус поворота колеса.

Для расчета углов увода, вызванных сдвигом пятен контакта колес φ_{12}^{CD} переднего (ПВМ) и φ_{34}^{CD} заднего (ЗВМ) ведущих мостов применяются расчетные схемы, описанные далее в статье: $\varphi_{12}^{CD} - \varphi$ и $\varphi_{34}^{CD} - \varphi$, где φ_{12} и φ_{34} – суммарные углы увода.

Модели поворачиваемости со срабатыванием МКД справедливы для ТТС, оснащенных многослойными шинами, у которых динамический радиус примерно равен радиусу качения колес в свободном режиме:

$$r_{Di} = r_{Ki}^\circ.$$

2. Расчетные схемы поворачиваемости ТТС на оболочковых шинах.

Предприятие «Агротехресурс» (г. Минск) разработало полноприводное 4×4 энергосредство «Роса» на шинах сверхнизкого давления. Данное энергосредство агрегируется с одноосными технологическими модулями: штанговым опрыскивателем или разбрасывателем твердых минеральных удобрений, образуя единую жесткую конструкцию 6×4. Грузоподъемность такого агрегата – до 1000 кг, общая масса до 2500 кг [11, 13], продольная колесная база $L=2,8$ м, колея $B=2,115$ м, параметры пятна контакта $a=0,7$ м, $b=0,4$ м (a и b – соответственно, длина и ширина пятна контакта).

Круговой поворот без тяговой нагрузки. Экспериментально установлено, что при повороте на насыпном песке при углах поворота колес $\alpha_1=20^\circ$, $\alpha_2=25,33^\circ$, $\alpha_3=\alpha_4=0$ радиусы поворота отдельных колес значительно больше, чем у трактора-установки, и составили: $R_1=12$ м, $R_2=9,95$ м, $R_3=11,7$ м, $R_4=9,6$ м. Рассчитаны следующие показатели пово-

рота: радиус поворота $R^\circ=7,78$ м – геометрический, $R=10,5$ м – экспериментальный, продольная координата центра скоростей смещена назад от оси вращения колес ЗВМ, $X=-0,15$ м. Так как направленные линии тяги задних колес проходит через пятна контакта передних колес, то последние перемещаются под углами бокового увода (расчетная схема Рокара) $\varphi_{B1}=+5,0^\circ$, $\varphi_{B2}=+7,8^\circ$. При этом боковые силы создают отклоняющий момент, поворачивающий колеса ЗВМ в пределах упругих деформаций на угловую закрутку (схема Грейдануса) $\varphi_{B3}=-0,8^\circ$, $\varphi_{B4}=-1,0^\circ+1,0^\circ$, углы кинематического увода малы $\varphi \approx 0$.

На рисунке 2 представлены экспериментальные данные поворачиваемости того же ТТС с тяговой нагрузкой. Радиусы поворота выросли (по сравнению с поворотом без нагрузки) незначительно. При этом углы кинематического увода, рассчитанные по разности радиусов поворота колес одного борта, составляют $\varphi=5-10^\circ$. Углы бокового увода:

$$\varphi_{B1}=-5,0^\circ-7,0^\circ, \varphi_{B2}=-5^\circ, \varphi_{B3}=-5^\circ, \varphi_{B4}=-7^\circ.$$

Смещение центра скоростей назад за ось заднего ведущего моста составило $X_{13}=-1,8$ м, $X_{24}=-0,9$ м.

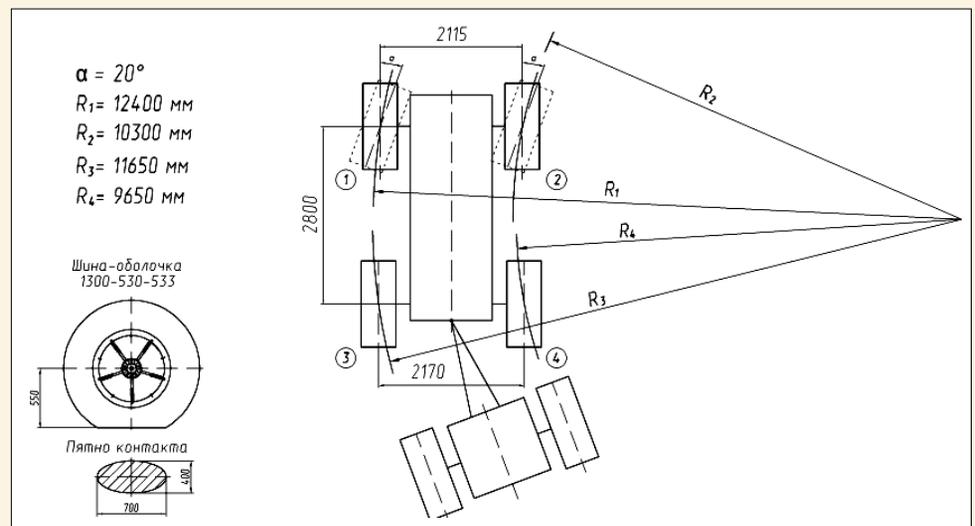


Рис. 2. Кинематика поворота ТТС с тяговой нагрузкой

Fig. 2. Kinematics of turn of TTV with traction loading

Кинематический анализ имеет погрешности, вызванные развалом колес (обусловленные кинематикой независимой подвески), а также схождением колес переднего ведущего моста.

Однако в целом проведенный эксперимент подтвердил теоретические предпосылки, представленные далее.

3. Противоречия классической теории. Современная теория поворота предполагает, что показатели кинематики поворота определяют:

- кинематическое несоответствие траекторий движения передних и задних колес трактора:



$$K_R = \frac{R_1 + R_2}{R_3 + R_4},$$

- кинематическое несоответствие в МБП (межосным блокированном приводе):

$$K_V = \frac{V_1 + V_2}{V_3 + V_4},$$

где V_1, V_2, V_3, V_4 – линейные скорости качения колес в соответствии с указанными индексами. У тракторов «Беларус» разных тяговых классов $K_V = 0,93-0,98$.

При среднем угле поворота передних колес $\alpha_{12} = 22^\circ$ рассчитывается результирующее кинематическое несоответствие:

$$K_{RV} = \frac{K_R}{K_V} = \frac{1,055}{0,93 \dots 0,98} = 1,076 \dots 1,134.$$

В то же время эксперименты показали, что при повороте трактора:

- без тяговой нагрузки с отключенным передним ведущим мостом на передние колеса действуют отрицательные реакции, вызванные эффектом «самоторможения»;

- с тяговой нагрузкой и включенным приводом ПВМ его колеса работают в активном режиме. При трогании с места по мере увеличения тяговой нагрузки внешние колеса переднего и заднего ведущих мостов откатываются назад, растут радиусы поворота и углы увода колес, уменьшается соотношение радиусов поворота внешних колес к внутренним, что свидетельствует о работе межколесного дифференциала. Эти эффекты не учитывает современная теория поворота. Она не может объяснить, почему столь велики углы увода колес трактора по сравнению с уводом колес автомобиля.

Наши научные гипотезы показали, что в моделях поворота удавалось достичь приемлемую сходимость расчетных результатов уравнений динамики с экспериментом. Уравнения кинематики поворота давали существенную погрешность. Поэтому нами предложена идея гибридной теории поворота (ГТП), учитывающей достижения перечисленных трех теорий [6-9].

4. Выбор расчетных схем поворота. На рисунке 3 представлены схемы к расчету сдвиговых деформаций в контактах колес с почвой при условии, что полюс трения находится в пятне контакта ко-

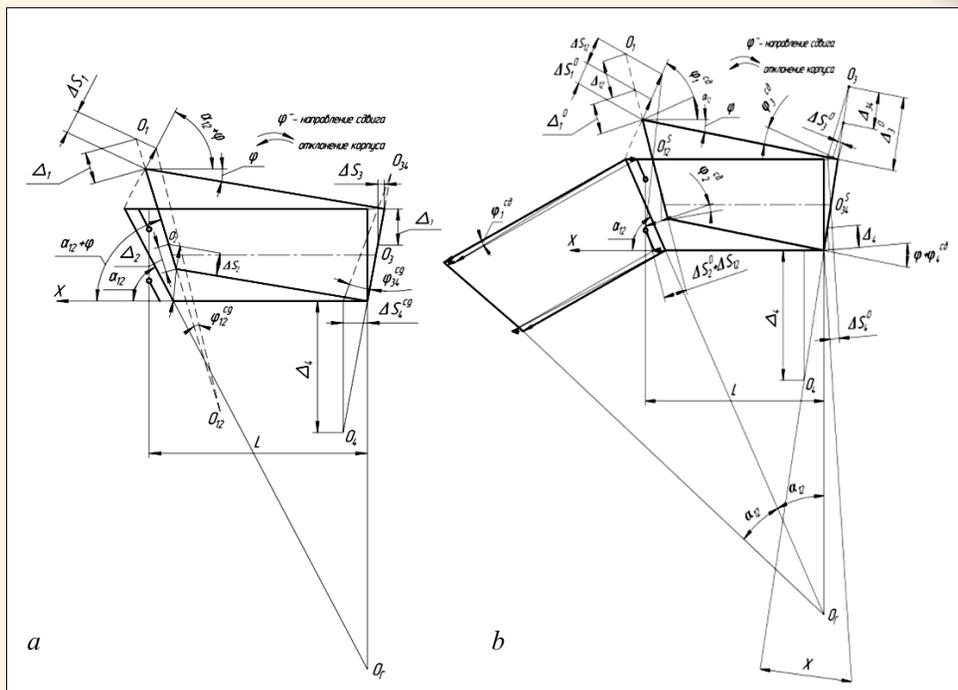


Рис. 3. Схемы к расчету сдвиговых деформаций в контактах колес с почвой

Fig. 3. Schemes to calculation of shear deformations in contacts of wheels with soil

леса $i=4$: а – полупространственная; б – план скоростей поворота.

На первом (переходном) этапе динамическая система (ДС), состоящая из двух дифференциальных тележек ПВМ и ЗВМ, приходит в состояние устойчивого равновесия. При этом их внешние колеса откатываются назад вокруг полюса трения, расположенного в центре контакта колеса $i=4$ при уменьшении скорости центра заднего ведущего моста. На втором этапе (в состоянии установившегося поворота) колеса ПВМ и ЗВМ обкатываются вокруг центров обоих мостов при сохранении скоростей перемещения названных центров.

Соотношение полного перемещения колес путей S_1^{II} и S_2^{II} определяется относительными их поворотами $i=1$ и 2 вокруг полюса трения:

$$S_1^{\text{II}} = (a_T + B)\varphi,$$

$$\text{где } a_T = L \sin \alpha_2; S_2^{\text{II}} = a_T \varphi = L \sin \alpha_2 \varphi,$$

а также вокруг центра МКД ПВМ:

$$\frac{S_1^{\text{II}} - S_2^{\text{II}}}{2} = \frac{B}{2} \varphi.$$

Скорости V_i^0 приложены в центрах колес и направлены перпендикулярно радиусам R_i^0 . Векторы скоростей ΔV направлены параллельно корпусу, повернутому на угол φ . Результирующие скорости перенесем в центры колес повернутого корпуса.

Проведем лучи перпендикулярно результирующим скоростям до пересечения их в точке O_K – кинематическом центре скоростей. Два других центра – геометрический O_r и силовой O_B – перемещаются по окружностям вокруг кинематического цен-

тра.

Выберем расчетную схему плана скоростей поворота полноприводной ходовой системы при отсутствии сдвига (рис. 3а). Примем, что контур реального трактора по центрам колес при среднем угле поворота колес $\alpha_{12}=0$ имеет форму четырехугольника. Пусть при повороте реального трактора правое колесо, поворачиваясь вокруг шкворня (показанного кружочком), смещается вперед, а внутреннее левое колесо аналогичным образом смещается назад. Примем расчетную схему: колеса расположим в точках пересечения

плоскостей качения колес с лучом, проведенным из геометрического центра через центр ПВМ.

На рисунке 3а приведены обозначения: $\Delta S_1, \Delta S_2, \Delta S_3, \Delta S_4$ – перемещения контактов колес; $\Delta S_1^{сд}, \Delta S_2^{сд}, \Delta S_3^{сд}, \Delta S_4^{сд}$ – сдвиговые деформации в контактах колес с почвой; A_1, A_2, A_3, A_4 – эксцентриситеты центров вращения колес; $\varphi_{12}^{сд}, \varphi_{34}^{сд}$ – углы увода, вызванные сдвигами колес ПВМ и ЗВМ; O_1, O_2, O_3, O_4 – центры вращения соответствующих колес; O_{12}, O_{34} – полюса трения колес. Критериями подобия изображенного плана скоростей и кинематики поворота являются:

- пропорциональность размеров B, L, R системы – реальных и геометрических, изображаемых на схеме;

- равенство реальных углов увода – бокового и кинематического;

- коэффициент буксования.

5. *Формирование кинематического увода колес.*

На рисунке 4 показана кинематическая схема поворота неуправляемой ведущей тележки, какой является ЗВМ. Если поворот происходит вокруг геометрического центра O_L , то радиус поворота тележки равен:

$$R_{34}^0 = \frac{R_3^0 + R_4^0}{2} = \frac{B}{V_3^0 - V_4^0} (V_3^0 + V_4^0).$$

Если МКД – управляемый активный (с подводом энергии), то скорость внешнего колеса на повороте увеличивается на величину $\Delta \bar{V}_{13}$ при сохранении средней скорости. Соединив линией под углом $\alpha_{12} - \varphi$ концы векторов $\bar{V}_3^0 + \Delta \bar{V}_{13}$ и \bar{V}_{34} , найдем новый центр O_K^+ скоростей. Здесь φ – угол кинема-

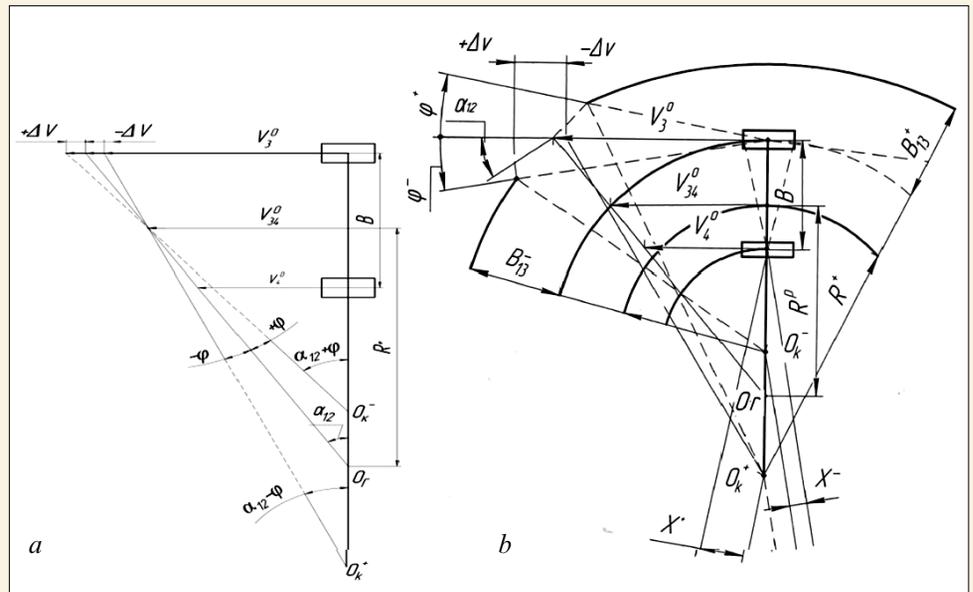


Рис. 4. План скоростей колес ЗВМ при повороте: а – без разворота корпуса ТТС; б – с разворотом корпуса ТТС

Fig. 4. Plan of speeds of wheels of back driving axle at turn: a – without TTV body turn; b – with TTV body turn

тического увода.

Радиус поворота тележки рассчитаем по формуле:

$$R^- = \frac{B}{V_3^0 - V_4^0 + 2\Delta V_{13}} (V_3^0 + V_4^0).$$

Если МКД – управляемый пассивный, то скорость внешнего колеса на повороте уменьшается на величину $\Delta \bar{V}_{13}$ при сохранении средней скорости. Соединив линией под углом $(\alpha_{12} - \varphi)$ концы векторов $(\bar{V}_3^0 + \Delta \bar{V}_{13})$ и \bar{V}_{34} , найдем новый центр O_K^- . Радиус поворота тележки определим по формуле:

$$R^+ = \frac{B}{V_3^0 - V_4^0 - 2\Delta V_{13}} (V_3^0 + V_4^0).$$

Из рисунка 4 следует, что увеличение скорости внешнего колеса при одновременном снижении скорости внутреннего приводит к уменьшению радиуса поворота R^- . ТТС с «сильными» передними колесами и активным управляемым МКД поворачиваются с отрицательными углами разворота корпуса (рис. 4а), а продольная координата центра скоростей смещается вперед от оси вращения колес ЗВМ.

При изменении скоростей в обратном направлении радиус поворота увеличивается до R^+ . При постоянной скорости поворота ЗВМ:

$$V_{34}^0 \mu = R^0 \operatorname{tg} \alpha_{12} = R^+ \operatorname{tg}(\alpha_{12} - \varphi) = R^- \operatorname{tg}(\alpha_{12} + \varphi),$$

где μ – масштаб скорости; R^+ и R^- – радиусы поворота.

$$R^+ = R^0 \frac{1 + \operatorname{tg} \alpha_{12}}{\operatorname{tg}(\alpha_{12} - \varphi)} = R^0 \frac{(1 + \operatorname{tg} \alpha_{12} \operatorname{tg} \varphi) \operatorname{tg} \alpha_{12}}{\operatorname{tg} \alpha_{12} - \operatorname{tg} \varphi}.$$



Так как:

$$tg(\alpha_{12} - \varphi) = \frac{tg\alpha_{12} - tg\varphi}{1 + tg\alpha_{12} tg\varphi} \text{ и } R^+ = R^0 \frac{1 + \varphi tg\alpha_{12}}{1 - \frac{\varphi}{tg\alpha_{12}}}$$

то ГТС со «слабыми» передними колесами и неактивным управляемым МКД поворачиваются с положительными (по часовой стрелке) углами разворота корпуса (рис. 4б). При этом продольная координата центра скоростей смещается назад от оси вращения колес ЗВМ.

Догрузив колесо, можно в его центр сместить полюс трения и поменять кинематику поворота – для регулирования курсовой устойчивости колесного трактора при пахоте с несимметричной тяговой нагрузкой.

Использование предложенных моделей поворота машины позволит повысить точность заданной траектории движения и ввести коррективы курса МТА.

Основные положения и допущения гибридной теории поворота

1. Пневматические колеса обладают существенной анизотропией свойств. В продольной плоскости коэффициент трения не превышает $\mu=0,65$, при скольжении в боковом направлении плоскости он достигает $\mu=2,5$.

В соответствии с вариационным принципом Гаусса, динамическая система переходит в состояние устойчивого равновесия на основе принципа наименьшего действия. При вхождении в круговой поворот виртуальная работа сил трения качения и скольжения колес – минимальная, если сдвиги пятен контакта колес происходят в продольной плоскости, а корпус тягача разворачивается вокруг полюса трения ходовой системы (ПТХС).

2. Поворот колес происходит вокруг кинематического центра, обусловленного соотношением угловых скоростей поворота колеса вокруг вертикальной и горизонтальной осей.

Используется расчетная схема поворота вокруг трех центров: геометрического центра O_r – в точке пересечения осей вращения всех колес на виде в плане; силового (Рокара) центра O_B ; кинематического центра O_K , вокруг которого вращаются центры O_B и O_r . Углы бокового увода обычно не превышают $\varphi_B = 5-7^\circ$. Углы кинематического увода достигают $\varphi = 30^\circ$

3. Силовые характеристики качения i -ых колес – касательные $P_K = f(\delta, \varphi_B)$ и боковые $P_B = f(\varphi_B, \delta)$ силы рассчитывают по характеристикам прямолинейного движения. Дополнительная тангенциальная реакция (ДТР) R_i^{sb} – паразитные силы в контактах колес с почвой и вызванные ими стабилизирующие моменты M_{CT} рассчитывают с использованием математической теории трения:

$$R_i^{sb} = P_k(\delta_i \pm \Delta\delta_i) - P_{ki}(\delta_i^0) = P_{k\max} \left[\left(1 - e^{-R(\delta_i^0 \pm \Delta\delta_i)}\right) - \left(1 - e^{-\beta_i \delta_i^0}\right) \right],$$

где δ_i^0 и δ_i – буксования i – колеса, рассчитанные соответственно по характеристикам прямолинейного движения и реальные при наличии ДТР, $\Delta\delta_i$ – приращения последних, вызванные поворотом со сдвигом колес трактора, $P_{k\max}$ – максимальное значение касательной сил тяги P_{Ki} , β_i – константа аппроксимации.

4. Виртуальная работа сил трения качения и скольжения колес – минимальная, если ПТХС находится в пятне контакта доминирующего колеса, на которое приходится наибольшая нормальная нагрузка. Это основное свойство ПТХС достигается, если остальные три колеса перемещаются в плоскостях качения или катятся с небольшими углами увода, вызванными податливостью резины. При повороте трактора классической схемы с тяговой нагрузкой речь идет о заднем внутреннем к центру скоростей колесе. В соответствии с вариационным принципом Гаусса, динамическая система переходит в состояние устойчивого равновесия на основе принципа наименьшего действия. В наших работах, основанных на результатах экспериментальных исследований, круговой поворот полноприводного тягового средства рассматривается как борьба колес ПВМ и ЗВМ [2, 14]:

- колеса ПВМ и внешняя тяговая нагрузки создают момент, поворачивающий колеса ЗВМ вокруг полюса трения O_{S34} , в результате чего формируются продольные боковые ДТР: $R_3^{s\delta}$ и $R_4^{s\delta}$;

- колеса ЗВМ и внешняя тяговая нагрузка создают момент, поворачивающий колеса ПВМ вокруг полюса O_{S12} , в результате чего формируются продольные боковые ДТР $R_1^{s\delta}$ и $R_2^{s\delta}$.

Жуковский Н.Е. доказал, что полюс трения железнодорожной тележки находится в контакте ведущего колеса, имеющего большой размер [9]. Его решение отличается от решения Опейко Ф.А., который доказал, что полюс трения расположен на некотором поперечном расстоянии от продольной оси симметрии гусеницы. Выразим поперечные смещения полюсов трения:

– для колес ЗВМ:

$$\alpha_s = 0,5B \frac{N_4 - N_3}{N_3 + N_4};$$

– для колес ПВМ:

$$b_s = 0,5B \frac{N_2 - N_1}{N_1 + N_2},$$

где B – ширина колеи колес, N_3 и N_4 – нормальные нагрузки на правое и левое колесо ЗВМ, $N_3 < N_4$; N_1 и N_2 – нормальные нагрузки на правое и левое ко-

лесо ПВМ, $N_1 > N_2$.

Наша расчетная схема исходит из схем Жуковского Н.Е. и Опейко Ф.А. Относительно ПТХС рассчитывают: отклоняющие моменты внешней силы P_{KP} и ДТР, стабилизирующие моменты касательных сил тяги P_{Ki} и боковых P_{Bi} .

5. Для определения центральных стабилизирующих моментов, вызванных поворотом жесткого колеса вокруг вертикальной оси со сдвигом почвы, Ф.А. Опейко предложил формулу:

$$L_{0\max} = \frac{f_{\text{ТР}}}{3} N \sqrt{ab},$$

где a и b – длины осей эллипса пятна контакта колеса, $f_{\text{ТР}}$ – коэффициент трения.

Так как полный сдвиг контактного отпечатка колеса происходит при повороте колеса вокруг вертикальной оси на угол $\theta_{\text{п}} > 7-9^\circ$, то при меньших углах момент будем рассчитывать по зависимости:

$$L = L_{0\max} (1 - e^{\beta_{\text{п}} \theta_{\text{п}}}),$$

где $\beta_{\text{п}}$ – константы аппроксимации.

Нецентральные стабилизирующие моменты i -колеса рассчитывают по формуле:

$$M_{\text{CTi}} = R_i^{s\delta} \Delta_i,$$

где Δ_i – эксцентриситеты центров вращения.

Положение центров вращения i -колеса определяется из условия:

- нецентральные стабилизирующие моменты направлены в сторону поворота;
- направления ДТР противоположны направлению сдвигов (по Опейко Ф.А.).

6. Если применен межосевой блокированный привод (МБП), то в полюсах трения O_{S12} ПВМ и O_{S34} ЗВМ приложены центральные ДТР $R_{12}^{s\delta}$ и $R_{34}^{s\delta}$. Из условия закрутки трансмиссии МБП принимается [11, 13]:

$$M_{\text{УПР}} = R_{12}^{s\delta} \frac{r_{\text{Д12}}}{i_{\text{ТР12}}} = R_{34}^{s\delta} \frac{r_{\text{Д34}}}{i_{\text{ТР34}}},$$

где $r_{\text{Д12}}$ и $r_{\text{Д34}}$ – динамические радиусы колес ПВМ и ЗВМ,

$i_{\text{ТР12}}$ и $i_{\text{ТР34}}$ – передаточные числа трансмиссии в приводе колес ПВМ и ЗВМ.

В итоге закрутки трансмиссии МБП соблюдается равенство центральных ДТР $R_{12}^{s\delta} = -R_{34}^{s\delta}$.

Если применен МДП, то $\Delta\delta_{12} = 0$ или $\Delta\delta_{34} = 0$, $e^{-\beta_{12}\Delta\delta_{12}}$, центральные ДТР равны нулю $R_{12}^{s\delta} = R_{34}^{s\delta} = 0$.

Так как упругие моменты, вызванные закруткой МБП передних и задних колес равны, то и вызванные ими суммы ДТР равны:

$$R_1^{s\delta} + R_2^{s\delta} = R_3^{s\delta} + R_4^{s\delta}$$

7. Трактор поворачивается с углом φ разворота корпуса относительно первоначального положения.

Выводы

1. При установившемся повороте МТА на базе колесного трактора с простыми МКД углы кинематического увода колес достигают 30° . При повороте ТТС (с тяговой нагрузкой и без нее) происходит смещение центра скоростей назад от геометрического центра на продольное расстояние, сопоставимое с базой ТТС.

2. Радиусы поворота МТА можно снизить, применяя активные МКД, подобные межколесным дифференциалам на гусеничных машинах.

3. С учетом созданной гибридной теории обработаны экспериментальные данные о кинематике поворота трактора с МБП и МДП. У трактора с МДП в контактах колес с почвой паразитные силы отсутствуют. При почти равном с МБП кинематическом несоответствии в межосевом приводе показатели кинематики поворота существенно отличаются от аналогичных показателей трактора.

4. Предлагаемые теоретические положения созданной гибридной теории поворота позволяют объяснить и рассчитать особенности кинематики поворота МТА, вызванные работой МКД.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кряжков В.М., Годжаев З.А., Шевцов В.Г. и др. Проблемы формирования инновационного парка сельскохозяйственных тракторов России // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. N3. С. 9-14.
2. Прядкин В.И., Годжаев З.А. Мобильные энергосредства сельскохозяйственного назначения на шинах сверхнизкого давления // Технология колесных и гусеничных машин. 2014. N6. С. 33-39.
3. Wong J. Y. Terramechanics and offroad vehicles: 2nd edition. Kidlington, Oxford: Elsevier, 2010: 468.
4. Bräunl Th. Embedded Robotics. Mobile Robot Design and Applications with Embedded Systems. 2008: 440.
5. Ojeda L., Borenstein J., Witus G., Karlsen R. Terrain characterization and classification with a mobile robot. Journal of Field Robotics. 2006; 23(2): 103-122.
6. Горин Г.С. Разработка гибридной теории поворота машинно-тракторного агрегата. Кинематика // Вестник Национальной Академии Наук Беларуси. Серия аграрных наук. 2012. N1. С. 91-107.
7. Горин Г.С. Характеристики динамической системы для расчета поворачиваемости трактора с тяговой нагрузкой // Наука и техника. 2011. N2. С. 50-56.



8. Горин Г.С., Куракин В.В. Прикладные задачи динамики криволинейного движения полноприводного тягового средства // Наука и техника. 2014. N2. С. 83-90.
 9. Белоусов Б.Н., Попов С.Д. Колесные транспортные средства особо большой грузоподъемности. Конструкции. Теория. Расчет. М.: МГТУ им. Баумана, 2006. 728 с.
 10. Горин Г.С. Тяговая динамика, поворачиваемость и силовые потоки мобильных тягово-энергетических средств. Минск: Наука и техника, 2013. 373 с.
 11. Прыдкин В.И., Годжаев З.А. Моделирование взаимодействия высокоэластичной шины с неровностью до-

роги // Автомобильная промышленность. 2014. N4. С. 32-33.
 12. Иофинов С.А. Эксплуатация машинно-тракторного парка. М.: Колос, 1974. 480 с.
 13. Годжаев З.А., Измайлов А.Ю., Прыдкин В.И. Влияние давления в высокоэластичной шине на тяговые свойства колеса // Автомобильная промышленность. 2015. N2. С. 9-12.
 14. Ray L.R., Brande D.C., Lever J.H. Estimation of net traction for deferential-steered wheeled robots. *Journal of Terramechanics*. 2009; 46: 75-87.

REFERENCES

1. Kryazhkov V.M., Godzhaev Z.A., Shevtsov V.G., et al. Problems of formation of Russian innovative agrocultural tractors fleet. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2015; 3: 9-14. (In Russian)
 2. Pryadkin V.I., Godzhaev Z.A. Mobile power means of agricultural purpose on extra-low pressure tyres. *Tekhnologiya kolesnykh i gusenichnykh mashin*. 2014; 6: 33-39. (In Russian)
 3. Wong J. Y. *Terramechanics and offroad vehicles*: 2nd edition. Kidlington, Oxford: Elsevier, 2010: 468. (In English)
 4. Bräunl Th. *Embedded Robotics. Mobile Robot Design and Applications with Embedded Systems*. 2008: 440. (In English)
 5. Ojeda L., Borenstein J., Witus G., Karlsen R. Terrain characterization and classification with a mobile robot. *Journal of Field Robotics*. 2006; 23(2): 103-122. (In English)
 6. Gorin G.S. Development of hybrid theory of turn of machine and tractor unit. *Kinematics. Vestnik Natsional'noy Akademii Nauk Belarusi. Seriya agrarnykh nauk*. 2012; 1: 91-107. (In Russian)
 7. Gorin G.S. Characteristics of dynamic system for calculation of a turnability of tractor with traction loading. *Nauka i tekhnika*. 2011; 2: 50-56. (In Russian)
 8. Gorin G.S., Kurakin V.V. Applied problems of dynamics of curvilinear movement of all-wheel drive traction means.

Nauka i tekhnika. 2014; 2: 83-90. (In Russian)
 9. Belousov B.N., Popov S.D. Kolesnye transportnye sredstva osobo bol'shoy gruzopod'emnosti. *Konstruktzii. Teoriya. Raschet* [Wheel vehicles of especially big loading capacity. Designs. Theory. Calculation]. Moscow: MGТУ im. Baumana, 2006: 728. (In Russian)
 10. Gorin G.S. Tyagovaya dinamika, povorachivaemost' i silovye potoki mobil'nykh tyagovo-energeticheskikh sredstv [Traction dynamics, turnability and power streams of mobile traction and power means]. Минск: Nauka i tekhnika, 2013: 373. (In Russian)
 11. Pryadkin V.I., Godzhaev Z.A. Modeling of interaction of high-elasticity tire with road unevenness. *Avtomobil'naya promyshlennost'*. 2014; 4: 32-33. (In Russian)
 12. Iofinov S.A. *Ekspluatatsiya mashinno-traktornogo parka* [Machine and tractor fleet operation]. Moscow: Kolos, 1974: 480. (In Russian)
 13. Godzhaev Z.A., Izmaylov A.Yu., Pryadkin V.I. Influence of pressure in high-elasticity tire upon wheel traction properties. *Avtomobil'naya promyshlennost'*. 2015; 2: 9-12. (In Russian)
 14. Ray L.R., Brande D.C., Lever J.H. Estimation of net traction for deferential-steered wheeled robots. *Journal of Terramechanics*. 2009; 46: 75-87. (In English)

Критерии авторства. Все авторы несут ответственность за представленные в статье сведения и плагиат.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution. The authors are responsible for information and plagiarism avoiding.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.362.322

DOI 10.22314.2073-7599-2016.5.12-16

ИНТЕНСИВНОСТЬ ВЫДЕЛЕНИЯ ЛЕГКОЙ ПРИМЕСИ В ВЕРТИКАЛЬНО ВОСХОДЯЩЕМ ВОЗДУШНОМ ПОТОКЕ

Хамуев В.Г., канд. техн. наук

Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, 1-й Институтский проезд, 5, Москва, 109428, Российская Федерация, e-mail: victor250476@yandex.ru

В каналах пневмосепараторов с вертикальной подачей воздушного потока процесс выделения легкого компонента является случайным по причине неправильной формы зерновок и неравномерности распределения воздушного потока по поперечному сечению канала. Поэтому сепарируемый компонент, подлежащий уносу, не может быть полностью выделен за любое конечное время воздействия воздушного потока. Это подтверждает математическая модель, адекватно описываемая функцией гамма-распределения с аргументами, один из которых – параметр интенсивности выделения легкого компонента, имеющий большое значение. Подобно тому, как движение материальной точки определяют ее скоростью в каждый момент времени, так и процесс пневмосепарации характеризуют интенсивностью выноса легкого компонента. Показали, что этот параметр имеет физический смысл, открывающий возможность интенсификации процесса пневмосепарации, что не было исследовано в достаточной мере. Изучили влияние зерновой нагрузки на интенсивность процесса разделения материала в вертикально восходящем воздушном потоке. Установили, что увеличение удельной зерновой нагрузки в пневмосепарирующем канале с вертикально восходящим воздушным потоком сопровождается повышением интенсивности выделения легкой примеси, что объясняется возрастанием скорости воздушного потока в межзерновом пространстве. Выявили, что на обработке ячменя при удельной зерновой нагрузке от 0,5 до 2 кг на кв. см в час интенсивность выделения примеси (овса) возрастает в зависимости от нагрузки линейно. Если бы интенсивность процесса сепарации при увеличении нагрузки от 0,5 до 2 кг на кв. см в час сохранялась такой же, как при нагрузке 0,5 кг на кв. см в час, то расчетная полнота выделения овса при нагрузке 2 кг на кв. см в час снизилась бы с 51,97 процента (результат опыта) до 9,83 процента. Получили, что на эффективность сепарации в пневмосепарирующем канале влияет изменение зерновой нагрузки.

Ключевые слова: пневмосепарация, интенсивность выноса легкой примеси, скорость воздушного потока, удельная зерновая нагрузка, полнота выделения примеси, полная гамма-функция. DOI 10.22314.2073-7599-2016.5.12-16

■ **Для цитирования:** Хамуев В.Г. Интенсивность выделения легкой примеси в вертикально восходящем воздушном потоке // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. №5. С. 12-16.

INTENSITY OF LIGHT IMPURITIES SEPARATION IN VERTICALLY ASCENDING AIR FLOW

V.G. Khamuev, Cand. Sci. (Eng.)

All-Russia Research Institute of Mechanization for Agriculture, 1st Institutskiy proezd, 5, Moscow, 109428, Russian Federation, e-mail: victor250476@yandex.ru

In channels of pneumoseparators with vertical giving of an air flow process of separation of an easy component is casual because of a wrong form of caryopsis and irregularity in the distribution of an air stream on the cross section of the channel. Therefore the separated component can not be completely allocated for any final time of influence of an air flow. It is confirmed by the mathematical model which is adequately described by function of gamma distribution with arguments one of which is the important parameter of intensity of easy component separation. Just as the movement of a material point is determinet by its speed in each timepoint, and process of pneumoseparation is characterized on intensity of extraction of an easy component. The authors showed that this parameter makes the physical meaning opening possibility of an intensification of process of pneumoseparation that was not investigated adequately. Influence of grain charge on intensity of process of separation in vertically ascending air flow was studied. It is established that the increase in specific grain charge in the pneumoseparating channel with vertically ascending air flow is followed by increase of intensity of light impurities separation that can be explained by increase of speed of an air stream in intergrain space. When processing of barley at specific grain charge from 0.5 to 2 kg on sq. cm an hour intensity of impurity (oats) release increases depending on loading linearly. If intensity of process of separation at increase in loading from 0.5 to 2 kg on sq. cm per



hour remained same as at charge of 0.5 kg of sq. cm per hour, settlement separation of oats at charge of 2 kg of sq. cm per hour would decrease from 51.97 percent (result of experience) to 9.83 percent. So, efficiency of separation with use of the pneumoseparating channel depend on change of grain charge.

Keywords: Pneumoseparation; Intensity of light impurities separation; Air flow speed; Specific grain charge; Impurities separation efficiency; Complete gamma function. DOI 10.22314.2073-7599-2016.5.12-16

For citation: Khamuev V.G. Intensity of light impurities separation in vertically ascending air flow. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016; 5: 12-16. (In Russian)

Исследованию процесса разделения зернового материала по аэродинамическим свойствам посвящены многие труды ученых [1-5]. В большинстве работ изучали траектории движения зерновок в пневмосепарирующем канале с вертикально восходящим воздушным потоком. В известных работах приведены уравнения движения отдельной зерновки с учетом действующих на нее силы тяжести частицы, воздушного потока, а также от формы зерновки, удара ее о стенки канала. Полученные математические модели в таких случаях приемлемы для описания реальных процессов пневмосепарации при сравнительно малой удельной производительности пневмосепараторов, работающих в условиях элементарной загрузки, когда зерновые частицы не создают помех выносу частиц легкой фракции воздушным потоком.

Поэтому была разработана математическая модель процесса сепарации применительно к реальным условиям использования пневмосортировальных машин высокой производительности [6, 7].

На основе вероятностной схемы поведения легкой частицы в слое зерновок, витающих под воздействием вертикально восходящего воздушного потока, получена математическая модель процесса пневмосепарации зерна. Установлено, что полнота разделения зернового материала в пневмосепарирующем канале, согласно разработанной математической модели, адекватно описывается функцией гамма-распределения с аргументами: параметра интенсивности выделения легкого компонента; продолжительности сепарации (или глубины пневмосепарирующего канала); удельной зерновой нагрузки; факторов, учитывающих физико-механические свойства подлежащих разделению компонентов материала, конструктивных и режимных параметров канала [8-12]:

$$\varepsilon = \frac{1}{\Gamma(g)} \int_0^{\alpha^d} e^{-x} x^{g-1} dx, \tag{1}$$

где $\Gamma(g) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{g-1} dx$ – полная гамма-функция;

$g = c_1 c_2 q$ – параметр сепарирующего пространства, зависящий от концентрации витающего слоя зерновок, безразмерная величина;

c_1 – параметр, учитывающий физико-механические

свойства обрабатываемого зернового материала;

c_2 – масштабный параметр, размерность которого обратна размерности произведения $c_1 q$;

q – удельная зерновая нагрузка, кг/(см²·ч);

d – глубина пневмосепарирующего канала, м;

v – скорость перемещения тяжелой фракции зернового материала от передней стенки канала к задней, м/с;

α – интенсивность выноса легких частиц, с⁻¹.

Эта модель позволяет определять полноту разделения при больших нагрузках материала в пневмосепарирующем канале и в тех случаях, когда различие аэродинамических свойств компонентов смеси не столь значительно.

При рассмотрении процесса разделения зерновой смеси воздушным потоком в общем случае (в том числе и при больших загрузках) понятие интенсивности выноса легких частиц имеет большое значение. Подобно тому как движение материальной точки зависит от ее скорости в каждый момент времени, так и процесс пневмосепарации определяют по интенсивности выноса легкого компонента. Параметр интенсивности выделения легкого компонента, как и другие определяющие аргументы, имеет физический смысл, открывающий возможность интенсификации процесса пневмосепарации, что не было изучено в достаточной мере и требует дополнительных исследований.

Цель исследования – изучение влияния зерновой нагрузки на интенсивность процесса разделения материала в вертикально восходящем воздушном потоке.

Материалы и методы. Исследования проводили на пневмосепарирующей машине ПСМ-10 с модернизированным каналом глубиной 700 мм [13, 14]. Скорость воздуха измеряли в пневмоканале при помощи цифрового термоанемометра DWYER серии 471В. Эффективность разделения материала сепаратором оценивали показателем Г.В. Ньютона и В.Г. Ньютона, определяемым разностью полноты выделения засорителя (овса) и потерь основного компонента (ячменя). Опыты проводили в трехкратной повторности по существующей методике. Относительная ошибка выборочной средней (точность опыта) составила менее 5%, при доверительной вероятности 0,9.

Через установку пропускали двухкомпонентную зерновую смесь влажностью 12,7%, состоящую из зерен ячменя (основной материал) со средней массой 1000 зерен 45,64 г и овса (примесь) массой 529 г, то есть в количестве 925 шт./кг со средней массой 1000 зерен 38,14 г. Удельная зерновая нагрузка составляла 0,501; 1,02; 2,04 кг/(см²·ч), что соответствует производительности машины 2,5; 5,0; 10,0 т/ч. В каждом случае масса выноса легкой фракции не превышала 10% от общего количества пропущенного материала.

Интенсивность выноса легких частиц определяли по формуле (1) посредством пакета прикладных программ *MatLab 2015a 8.5 PRO*.

Скорость витания семян и примеси исходного материала определяли на ротаметрическом пневмокласификаторе РПК-30. Из исходного материала проводили отбор необходимого количества семян ячменя и их трудноотделимых примесей семян овса. Отобранные зерна пропускали через установку при разных скоростях воздушного потока. При каждом режиме проводили подсчет количества унесенного зерна в штуках. Было обработано 2000 зерен ячменя и 1480 зерен овса.

Результаты и обсуждение. Классификация семян ячменя и овса (примеси), составляющих смесь на пневматическом классификаторе РПК-30, по скорости витания представлена дифференциальными и интегральными полигонами (рис. 1). Как видно по дифференциальным кривым распределения, полигоны частот ячменя и овса перекрываются между собой, то есть смесь, составленная из этих семян, не может быть полностью разделена воздушным потоком. Разделение компонентов без незначительных потерь невозможно. При полном выделении овса потери ячменя могут составлять 66,5%, а эффективность сепарирования составит 33,5% (интегральные кривые распределения). Максимальная эффективность разделения составляет 67,8% при потерях ячменя 22,0% и полноте выделения овса 89,8%.

Исследование эффективности разделения зернового материала в глубоком пневмосепарирующем канале (таблица) показало, что канал эффективно разделяет ячмень и овес. При выделении 69,19% овса на пневмокласификаторе РПК-30 эффективность разделения $E=56,19\%$, а потери ячменя $\xi=13\%$. При выделении на сепараторе 51,97% овса $E=45,3\%$, а $\xi=6,67\%$. Рассматривая работу сепаратора с этой точки зрения, видим, что при максимальной и минимальной полноте выделения овса эффективность разделения выше, а потери ячменя ниже, чем на РПК-30.

Зная полноту выделения ε (таблица), по формуле (1) при помощи пакета прикладных программ *MatLab 2015a 8.5 PRO* определили произведение интенсивности и времени процесса выделения овса из ячменя (показатель at). По результатам рас-

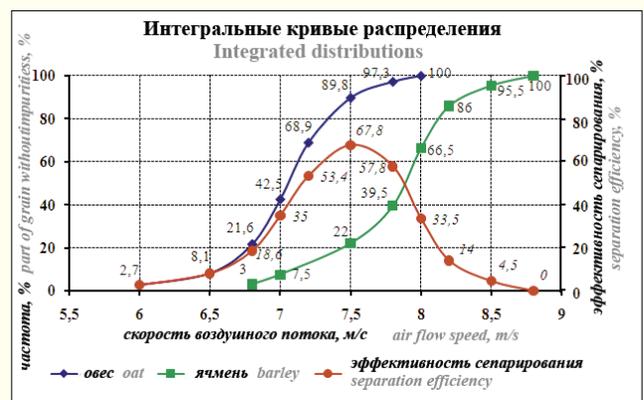
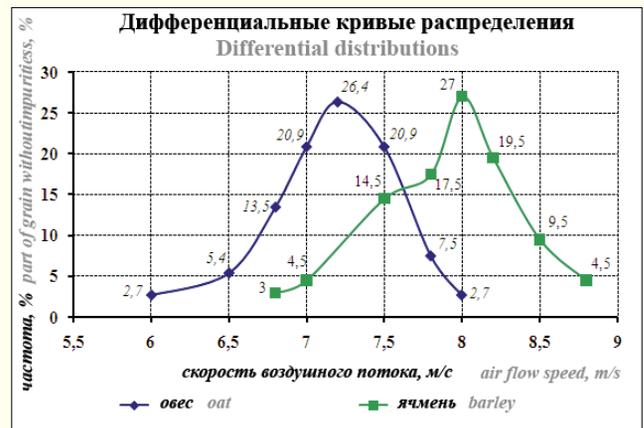


Рис. 1. Вариационные кривые распределения скоростей витания компонентов зерновой смеси

Fig. 1. Variation distributions of terminal velocity of grain mix components

четов, аппроксимируя их, построили зависимость at от удельной зерновой нагрузки q и получили уравнение этой зависимости (рис. 2).

Если учесть, что экспозиция процесса t при любом q одинакова, то интенсивность выделения овса из ячменя при увеличении q от 0,51 до 2,01 кг/(см²·ч) повышается линейно.

Линейное увеличение интенсивности выделения легкого компонента можно объяснить следующим образом. При постоянном расходе воздуха действительная скорость воздушного потока в межзерновом пространстве всегда больше скорости воздушного потока в свободном от материала канале (рис. 3). При повышении удельной зерновой нагрузки уменьшается межзерновое пространство. Это приводит к увеличению скорости воздушного потока в этом пространстве, то есть интенсивность выноса легких частиц возрастает.

О повышении интенсивности выделения вследствие увеличения скорости в межзерновом пространстве можно судить по рисункам 2 и 3, на которых отражено линейное увеличение как интенсивности, так и средней скорости воздушного потока в канале пневмосепаратора с повышением удельной зерновой нагрузки. Разница между угловыми коэффи-



ЭФФЕКТИВНОСТЬ СЕПАРИРОВАНИЯ НА ПНЕВМОСЕПАРАТОРЕ ПСМ-10 ПРИ РАЗЛИЧНОЙ УДЕЛЬНОЙ ЗЕРНОВОЙ НАГРУЗКЕ EFFICIENCY OF SEPARATION IN PSM-10 PNEUMOSEPARATOR AT VARIOUS SPECIFIC GRAIN LOADING							
Удельная зерновая нагрузка, кг/(см ² ·ч) Specific grain loading, kg/(sq. cm·h)	Общая масса выноса, кг Full grain weight, kg	Масса ячменя в выносе, кг Including barley weight, kg	Масса 1000 зерен в выносе, г 1000 kernel weight, g		Потери ячменя ζ, % Barley loss, ζ, %	Полнота выделения ε, % Extraction efficiency, ε, %	Эффективность разделения E, % Separation efficiency, E, %
			ячмень barley	овес oat			
0,51	110	71,8	37,98	36,42	5,23	69,19	63,96
1,02	120	88,7	38,36	36,31	6,10	61,67	55,57
2,04	125	98,7	39,22	35,71	6,67	51,97	45,30

циентами этих прямых незначительна.

Насколько существенной является установленная закономерность повышения интенсивности процесса сепарации с увеличением зерновой нагрузки на изменение полноты выделения примеси, можно оценить по данным (рис. 4), где сопоставлены рассчитанные по формуле (1) и экспериментальные значения полноты выделения семян овса из семенного

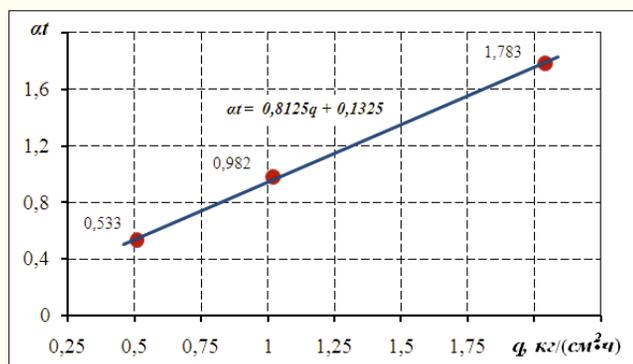


Рис. 2. Зависимость показателя (αt) от удельной зерновой нагрузки (q) на пневмосепараторе ПСМ-10

Fig. 2. Dependence of indicator (αt) on specific grain loading (q) in PSM-10 pneumoseparator

материала ячменя (таблица). Если бы интенсивность процесса сепарации при увеличении нагрузки от 0,5 до 2 кг/(см²·ч) сохранялась такой же, как при нагрузке 0,5 кг/(см²·ч), то расчетная полнота выделения овса при нагрузке 2 кг/(см²·ч) снизилась бы с 51,97% (результат опыта) до 9,83%. Таково положительное влияние изменения нагрузки на эффективность сепарации пневмосепарирующим каналом.

Выводы. Увеличение удельной зерновой нагрузки сопровождается повышением интенсивности выделения примеси, что объясняется возрастанием скорости воздушного потока в межзерновом пространстве. На обработке ячменя при удельной зерновой нагрузке от 0,5 до 2 кг/(см²·ч) интенсивность выделения примеси (овса) линейно возрастает в зависимости от нагрузки. Следует отметить,

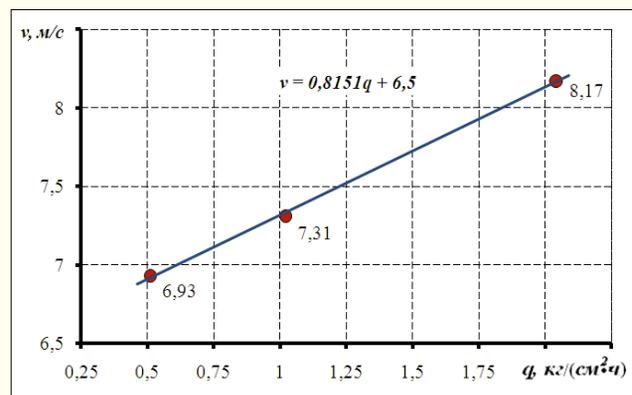


Рис. 3. Зависимость средней скорости воздушного потока (v) в межзерновом пространстве от удельной зерновой нагрузки (q) на пневмосепараторе ПСМ-10

Fig. 3. Dependence of average speed of air stream (v) in intergrain space on specific grain loading (q) in PSM-10 pneumoseparator

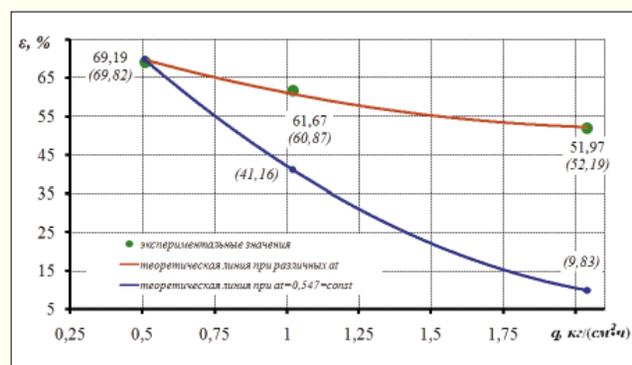


Рис. 4. Зависимость полноты выделения (ε) семян овса из ячменя от удельной зерновой нагрузки (q) на пневмосепараторе ПСМ-10

Fig. 4. Dependence of completeness of oats seeds separation (ε) from barley on specific grain loading (q) in PSM-10 pneumoseparator

что если бы интенсивность процесса не возрастала при увеличении зерновой нагрузки, а, например, была постоянной, то эффективность разделения снизилась бы в 5 раз.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Буклагин Д.С., Мишуров Н.П., Гольяпин В.Я., Колчина Л.М., Соловьева Н.Ф., Шилова Е.П., Измайлов А.Ю. Тенденции развития сельскохозяйственной техники // Научно-аналитический обзор (По материалам 7-й международной выставки «Золотая осень-2006») М.: Росинформагротех, 2006: 164 с.
2. Жалнин Э.В. Аксиоматизация земледельческой механики. М.: ВИМ, 2002. 204 с.
3. Doshi J.S., Patel V.B., Patel J.B., Patel J.A. Quantification of Quality Improvement in Wheat Seed Processing. *Journal of Agricultural Engineering*. 2013; Vol. 50; 4: 83-86.
4. Kroulík M., Hůla J., Rybka A., Honzík I. Pneumatic conveying characteristics of seeds in a vertical ascending airstream. *Research in Agricultural Engineering*. 2016; 62: 56-63.
5. Łukaszuk J., Molenda M., Horabik J., Szot B., Montross M.D.: Airflow resistance of wheat bedding as influenced by the filling method. *Research in Agricultural Engineering*. 2008; 54: 50-57.
6. Измайлов А.Ю., Лачуга Ю.Ф., 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. N1. С. 2-8.
7. Зюлин А.Н., Хамуев В.Г. Теоретическое исследование пневмосепарации зернового материала в вертикально восходящем воздушном потоке // Техника в сельском хозяйстве. 2008. N2. С. 3-6.
8. Арсенин В.Я. Математическая физика: основные уравнения и специальные функции. М.: Наука, 1966. С. 225-233.
9. Евграфов М.А. Аналитические функции. М.: Наука, 1968. С. 267-273.
10. Godefroy M. La fonction Gamma; Théorie, Histoire, Bibliographie, Gauthier-Villars, Paris, 1901: 94.
11. Artin E. Einführung in die Theorie der Gammafunktion, Teubner, Leipzig, 1931.
12. Nielson N. Handbuch der Theorie der Gammafunktion, Teubner, Leipzig, 1906.
13. Пат. №2193929 РФ. Канал для сепарации зерна восходящим воздушным потоком / Зюлин А.Н., Бабченко В.Д. Бюл. 2002.
14. Ньютон Г.В., Ньютон В.Г. Исследование эффективности классификации // Труды московского дома ученых. 1937. Вып. 2.

REFERENCES

1. Buklagin D.S., Mishurov N.P., Gol'tyapin V.Ya., Kolchina L.M., Solov'eva N.F., Shilova E.P., Izmaylov A.Yu. Tendentsii razvitiya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Trends in development of agricultural machinery]. *Nauchno-analiticheskiy obzor (Po materialam 7-y mezhdunarodnoy vystavki «Zolotaya osen'-2006»)*, Moscow: Rosinformagrotekh. 2006. 164. (In Russian)
2. Zhalnin E.V. Aksiomatizatsiya zemledel'cheskoy mekhaniki [Agricultural mechanics axiomatization]. Moscow: VIM, 2002: 204. (In Russian)
3. Doshi J.S., Patel V.B., Patel J.B., Patel J.A. Quantification of Quality Improvement in Wheat Seed Processing. *Journal of Agricultural Engineering*. 2013; Vol. 50; 4: 83-86. (In English)
4. Kroulík M., Hůla J., Rybka A., Honzík I. Pneumatic conveying characteristics of seeds in a vertical ascending airstream. *Research in Agricultural Engineering*. 2016; 62: 56-63. (In English)
5. Łukaszuk J., Molenda M., Horabik J., Szot B., Montross M.D.: (2008): Airflow resistance of wheat bedding as influenced by the filling method. *Research in Agricultural Engineering*. 2008; 54: 50-57. (In English)
6. Izmaylov A.Yu., Lachuga Yu.F., Zyulin A.N. Development and implementation of high-performance, resource and energy saving technologies and equipment for postharvest processing of grain and seed preparation. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tehnologii*. 2009; 1: 2-8. (In Russian)
7. Zyulin A.N., Khamuev V.G. Theoretical study grain material pneumoseparation in vertically ascending air flow. *Tekhnika v sel'skom khozyaistve*. 2008; 2: 3-6. (In Russian)
8. Arsenin V.Ya. Matematicheskaya fizika: osnovnye uravneniya i spetsial'nye funktsii [Mathematical physics: main equations and special functions]. Moscow: Nauka, 1966: 225-233. (In Russian)
9. Evgrafov M.A. Analiticheskie funktsii [Analytical functions]. Moscow: Nauka, 1968: 267-273. (In Russian)
10. Godefroy M. La fonction Gamma; Théorie, Histoire, Bibliographie, Gauthier-Villars, Paris, 1901: 94. (In French)
11. Artin E. Einführung in die Theorie der Gammafunktion, Teubner, Leipzig, 1931. (In German)
12. Nielson N. Handbuch der Theorie der Gammafunktion, Teubner, Leipzig, 1906. (In German)
13. Pat. RF No. 2193929. Kanal dlja separacii zerna voshodjashhim vozdushnym potokom [Duct for grain separation by ascending air flow]. Zyulin A.N., Babchenko V.D. 2002. (In Russian)
14. Newton G.V., Newton V.G. Issledovanie effektivnosti klassifikatsii [Study of classification effectiveness]. *Trudy moskovskogo doma uchenykh*, 1937; 2. (In Russian)

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

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

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

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

УДК 631.412

DOI 10.22314.2073-7599-2016.5.17-23

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАБОТЫ РЫХЛИТЕЛЬНОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА

Лобачевский Я.П.¹, докт. техн. наук, профессор; Старовойтов С.И.^{2*}, канд. техн. наук

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

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

При работе почвообрабатывающего рабочего органа важно управлять качеством обработки деформируемого слоя почвы. Почва как объект обработки характеризуется модулем упругости первого рода, коэффициентом Пуассона, пределом прочности на сжатие, углами внешнего и внутреннего трения, коэффициентом удельной потенциальной энергии разрушения почвенных частиц. Все перечисленные показатели зависят от значений абсолютной влажности суглинистой почвы. С помощью метода конечных элементов спрогнозировали напряженно-деформируемое состояние обрабатываемого слоя суглинистой почвы с учетом таких допущений, как квазисплошность, квазиупругость, постоянство скорости и глубины обработки. Показали, что реализацией данного метода стали составление глобальной матрицы жесткости, грузового столбца, решение системы линейных уравнений, определение возможных перемещений узловых точек почвенного массива по горизонтали и вертикали, а также определение удельной потенциальной энергии элементарных почвенных фрагментов. Определили, что грузовой столбец формируется с учетом силы тяжести почвенных фрагментов, тягового сопротивления боковой поверхности долотообразной лапы и режущей кромки, а также сил инерции. Сопоставив полученные значения с экспериментальной величиной удельной потенциальной энергии разрушения почвенных фрагментов суглинистой почвы, можно сделать прогноз о геометрических параметрах зоны разрушения и степени крошения почвенных фрагментов. Так, при абсолютной влажности суглинистой почвы 20,73 процента, скорости движения 1,6 м в секунду, глубине обработки 0,2 м, ширине рабочего органа 0,02 м длина зоны разрушения в направлении движения составляет 0,12 м, ширина – 0,1 м, критическая глубина резания – 0,08 м. Коэффициент крошения зоны возмущенного состояния не превышает 22 процента.

Ключевые слова: обработка почвы, долотообразная лапа, матрица жесткости, режущая кромка, тяговое сопротивление, коэффициент крошения, критическая глубина резания. DOI 10.22314.2073-7599-2016.5.17-23

■ **Для цитирования:** Лобачевский Я.П., Старовойтов С.И. Теоретические и технологические аспекты работы рыхлительного рабочего органа // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. №5. С. 17-23.

THEORETICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF RIPPER WORKING TOOLS OPERATION

Ya.P. Lobachevskiy¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor; S.I. Starovoytov^{2*}, Cand. Sci. (Eng.)

¹All - Russia Research Institute of Mechanization for Agriculture, 1st Institutskiy proezd, 5, Moscow, 109428, Russian Federation, e-mail: vim@vim.ru

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

Operating of quality of cultivation of a deformable soil layer is important at soil cultivating working too use. The soil as cultivated object is characterized by elastic modulus, the Poisson ratio, ultimate compression strength, angle of wall and internal friction, coefficient of specific potential energy of destruction of soil particles. All these indicators depend on values of absolute humidity of the loamy soil. By means of a finite elements method the authors predicted an intense and deformable condition of the cultivated layer of the loamy soil taking into account such suppositions as a quasi solidity, quasi elasticity, constancy of speed and depth of cultivation. For realization of this method several operations were used, such as compiling of a global stiffness matrix, a load column, solve simultaneous linear equations, definition of possible movements of nodal points in the soil body across and verticals, and also determination of specific potential energy of elementary soil fragments. The load column is formed taking into account the gravity of soil fragments, traction resistance of a side surface of a chisel and a cutting edge, and also inertia forces. In case of comparison of the received values with

the experimental rate of specific potential energy of destruction of soil fragments of the loamy soil it is possible to make the forecast about geometrical parameters of a destruction zone and extent of crumbling of soil fragments. So, at absolute humidity of the loamy soil 20.73 percent, speed of the movement of 1.6 m a second, depth of processing of 0.2 m, width of working tool of 0.02 m destruction zone length in the direction of the movement makes 0.12 m, width equals 0.1 m, the critical depth of cutting is 0.08 m. The coefficient of crumbling of a zone of the disturbed state does not exceed 22 percent.

Keywords: Soil cultivation; Chisel; Global stiffness matrix; Blade; Traction resistance; Crumbling coefficient; Critical depth of cutting; Absolute humidity. DOI 10.22314.2073-7599-2016.5.17-23

For citation: Lobachevskiy Ya.P., Starovoytov S.I. Theoretical and technological aspects of ripper working tools operation. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016; 5: 17-23. (In Russian)

Один из важнейших показателей, оценивающих качество взаимодействия рабочего органа с почвой, – коэффициент крошения [1]. Известны регрессионные модели, связывающие коэффициент крошения почвы, ее абсолютную влажность и скорость движения почвообрабатывающего орудия [2]. Существуют теоретические наработки в области определения геометрических параметров зоны разрушения, состоящей из участков внедрения и возмущенного состояния, например критической глубины резания [3-5]. Тем не менее, актуальной остается разработка теоретических основ напряженно-деформированного состояния, связывающих геометрию зоны разрушения, коэффициент крошения почвы определенного гранулометрического состава и ее абсолютную влажность [6].

Цель исследований – определение геометрических параметров зоны разрушения и коэффициента крошения при взаимодействии долотообразной лапы с почвой с помощью метода конечных элементов.

Материалы и методы. Для реализации метода конечных элементов следует составить глобальную матрицу жесткости и грузового столбца, решить систему линейных уравнений, определить возможные перемещения узловых точек почвенного массива по горизонтали и вертикали и рассчитать удельную потенциальную энергию элементарного почвенного фрагмента [7, 8]. Грузовой столбец формируется с учетом силы тяжести почвенных фрагментов, тягового сопротивления боковой поверхности долотообразной лапы, режущей кромки, преодоления сил инерции при постоянстве скорости движения и глубины обработки [9-13].

С учетом таких допущений, как квазисплошность и квазиупругость, почва как объект обработки характеризуется модулем упругости первого рода, коэффициентом Пуассона, пределом прочности на сжатие, углами внешнего и внутреннего трения, коэффициентом удельной потенциальной энергии разрушения почвенных частиц [14-16]. Все перечисленные показатели зависят от значений абсолютной влажности суглинистой почвы.

Введем систему координат YOX , вычертим профиль долотообразной лапы, определим число элементарных составляющих почвенного массива (рис. 1). Нагрузка приходится на одну из сторон треугольников 2; 4; 6; 8; 9. В скобках обозначены номера элементарных составляющих. Выделены и обозначены 49 узловых точек. Под действием рассредоточенной нагрузки узловые точки смещаются. Обозначим символом u_i горизонтальное смещение в направлении оси X , символом v_j – вертикальное перемещение в направлении оси Y .

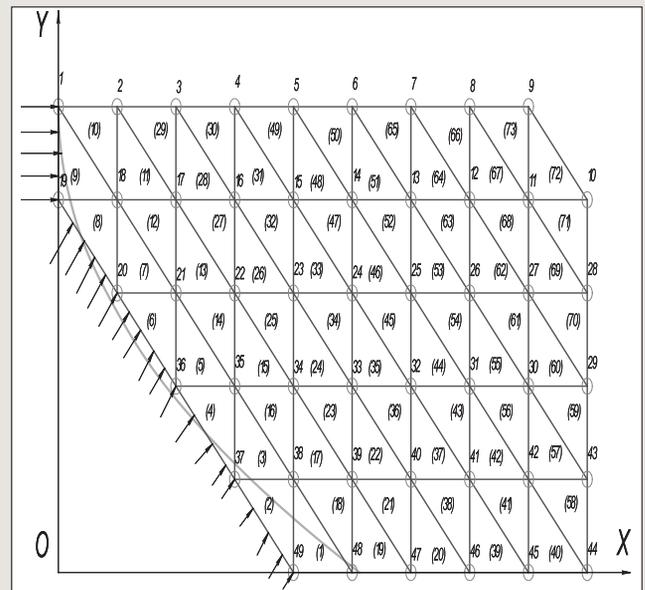


Рис. 1. Составляющие почвенного массива

Fig. 1. Components of soil body

Перемещения всех узловых точек почвенного пласта определяются вектором:

$$\bar{Z} = [u_1, v_1, \dots, u_{49}, v_{49}]^T. \quad (1)$$

Глобальная матрица жесткости, перемещения всех узловых точек почвенного массива и внешняя нагрузка отражены в следующем уравнении:

$$A \cdot B^{-1} \cdot A^T \cdot \bar{z} = \bar{P}, \quad (2)$$

где $A \cdot B^{-1} \cdot A^T$ – матрица жесткости почвенного мас-



сива;

\bar{z} – вектор-столбец перемещений всех узловых точек;

\bar{P} – вектор-столбец внешней нагрузки.

Для формирования глобальной матрицы использовали таблицы перемещения узловых точек эле-

Узловые точки Nodal points		u_2	u_3	v_3
38(3)	u_{38} 74	0	1	0
	v_{38} 75	0	0	1
48(2)	u_{19} 94	1	0	0
	v_{19} 95	0	1	0
49(1)	u_{20} 38	-1	-1	0
	v_{20} 39	0	-1	-1

ментарных фрагментов. Для их заполнения необходимо иметь нумерацию узловых точек всего почвенного массива, нумерацию треугольников, треугольник с местной нумерацией. В таблице 1 представлены перемещения узловых точек элемента 1 (S1).

Таблица 1 включает пять столбцов. Первый столбец содержит номера узловых точек почвенного массива, а цифрой в скобках обозначены узлы элементарного почвенного фрагмента в местной нумерации. Второй столбец обозначает перемещение по горизонтали и вертикали узловых точек. А цифры справа характеризуют номер строки для формирования глобальной матрицы с учетом того, что первая строка в программе LabVIEW обозначена «0». Третий, четвертый и пятый столбцы содержат фрагменты элементарной матрицы a , связывающей независимые силы со всеми силами, действующими на элементарный почвенный фрагмент.

Вектор-столбец внешней нагрузки (грузовой столбец) представленного почвенного массива включает 98 строк. Эта величина равна произведению количества узловых точек на два вида перемещения: по горизонтали и вертикали. Узловые точки нагружены силой тяжести, силой инерции, составляющими нагрузки от взаимодействия долотообразной лапы с почвенным массивом.

Сила тяжести G приложена по вертикали ко всем узловым точкам. В грузовой столбце данная величина отрицательная.

$$G = \frac{1}{2} \cdot a \cdot b \cdot \delta \cdot \rho \cdot g, \tag{3}$$

где a, b – размеры треугольного элемента, формирующего почвенный массив;

δ – толщина рабочего органа;

ρ – плотность деформируемой почвы;

g – ускорение свободного падения.

Силу инерции $P_{ин}$ определим по следующей формуле:

$$P_{ин} = \frac{V \cdot v \cdot \sqrt{E \cdot \rho}}{\pi \cdot l}, \tag{4}$$

где V – объем почвенного массива, м³;

v – скорость движения долотообразной лапы, м/с;

E – модуль упругости почвы, Н/м²;

l – длина тела скольжения, м.

Угол скалывания ψ равен:

$$\psi = \frac{\pi}{2} - \frac{\varphi_{внеш} + \varphi_{внут} + \alpha}{2}, \tag{5}$$

где $\varphi_{внеш}$ – угол внешнего трения почвы, рад.;

$\varphi_{внут}$ – угол внутреннего трения почвы, рад.;

α – угол резания долотообразной лапы, рад.

Длину l тела скольжения вычислим по формуле:

$$l = \frac{H}{\sin \psi}, \tag{6}$$

где H – глубина обработки, м.

Найдем тяговое усилие от лезвия долотообразной лапы:

$$P_{рк} = \delta \cdot t \cdot \left[\frac{E \cdot v}{\sqrt{\frac{E}{\rho}}} + \frac{2 \cdot \eta \cdot v \cdot \sin \left(\frac{\pi}{2} - \frac{\varphi_{внеш} + \varphi_{внут} + \alpha}{2} \right)}{\pi \cdot P} \right], \tag{7}$$

где t – толщина режущей кромки долотообразной лапы, м;

η – коэффициент динамической вязкости суглинистой почвы, Па·с.

Данную величину прикладываем по горизонтали к 49-й узловой точке.

Тяговое усилие поверхности долотообразной лапы $P_{пов}$ определим с помощью выражения:

$$P_{пов} = - \frac{\sigma_{сж} \cdot H \cdot \delta \cdot [f_{внеш} \cdot (a_1 x_0^2 + b_1 x_0) + x_0]}{\Delta}, \tag{8}$$

где $\sigma_{сж}$ – предел прочности почвы на сжатие, Па;

$f_{внеш}$ – коэффициент внешнего трения почвы;

x_0 – горизонтальная координата верхней точки долотообразной лапы, м;

a_1 и b_1 – коэффициенты бокового профиля долотообразной лапы, м⁻¹ ($a_1 = -5,13$; $b_1 = 2,08$);

Δ – единичное перемещение рабочего органа, м;

$$b_1 = \frac{y_0}{x_0} - a_1 \cdot x_0, \tag{9}$$

где y_0 – вертикальная координата верхней точки долотообразной лапы, м;

Значение H соответствует координате x_0 . Значение $\sigma_{сж}$ представляет собой предел прочности суглинистой почвы на сжатие. Это допустимо, так как существует зона внедрения и зона возмущен-

ного состояния. Для пассивного рабочего органа, в частности долотообразной лапы, формирование зоны внедрения будет сопровождаться перемещением почвенных комков в сторону дневной поверхности (в сторону от хода движения при их вдавливании в стенки почвенного пласта) или их разрушением. Исходные данные к оценке степени кро-

Table 2		Таблица 2
Исходные данные к оценке степени крошения пласта		
BASIC DATA FOR ASSESSMENT OF FURROW SLICE CRUMBLING RATE		
Показатели Parameters	Обозначение Notation	Величина Value
Высота треугольного элемента, м Triangular element height, m	a	0,04
Ширина треугольного элемента, м Triangular element width, m	b	0,04
Плотность почвы ρ кг/м ³ Soil density, kg/m ³	ρ	1554
Скорость движения долотообразной лапы, м/с Chisel movement speed, m/s	v	1,6
Модуль упругости первого рода, Па Elastic modulus, Pa	E	3167531
Объем почвенного массива, м ³ Soil body volume, m ³	V	0,0012
Коэффициент динамической вязкости, Па·с Coefficient of dynamic viscosity, Pa·s	η	3428703
Длина тела скольжения, м Sliding body length, m	l	0,27
Число элементов почвенного массива Number of soil body elements	n	73
Угол внешнего трения почвы, рад Angle of wall friction, rad	$\varphi_{\text{внеш}}$	0,539
Угол внутреннего трения почвы, рад Angle of internal friction, rad	$\varphi_{\text{внут}}$	0,506
Угол резания долотообразной лапы, рад Chisel cuttig angle, rad	α	0,46
Толщина режущей кромки, м Cutting edge width, m	t	0,001
Ширина рабочего органа, м Working tool width, m	δ	0,02
Предел прочности почвы на сжатие, Па Soil ultimate compression strength, Pa	$\sigma_{\text{сж}}$	154175
Горизонтальная координата верхней точки долотообразной лапы, м Horizontal coordinate of chisel top point, m	x_0	0,2
Вертикальная координата верхней точки долотообразной лапы, м Vertical coordinate of chisel top point, m	y_0	0,205

Table 3		Таблица 3
РАСЧЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ВЕЛИЧИН ТЯГОВЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ		ESTIMATED VALUES OF TRACTIVE RESISTANCE COMPONENTS
Показатели Parameters	Величина Value	
Сила тяжести, Н Gravity force, N	0,24	
Сила инерции, Н Inertial force, N	156	
Тяговое усилие лезвия, Н Cutting edge pulling force, N	257	
Тяговое усилие поверхности, Н Surface pulling force, N	199	

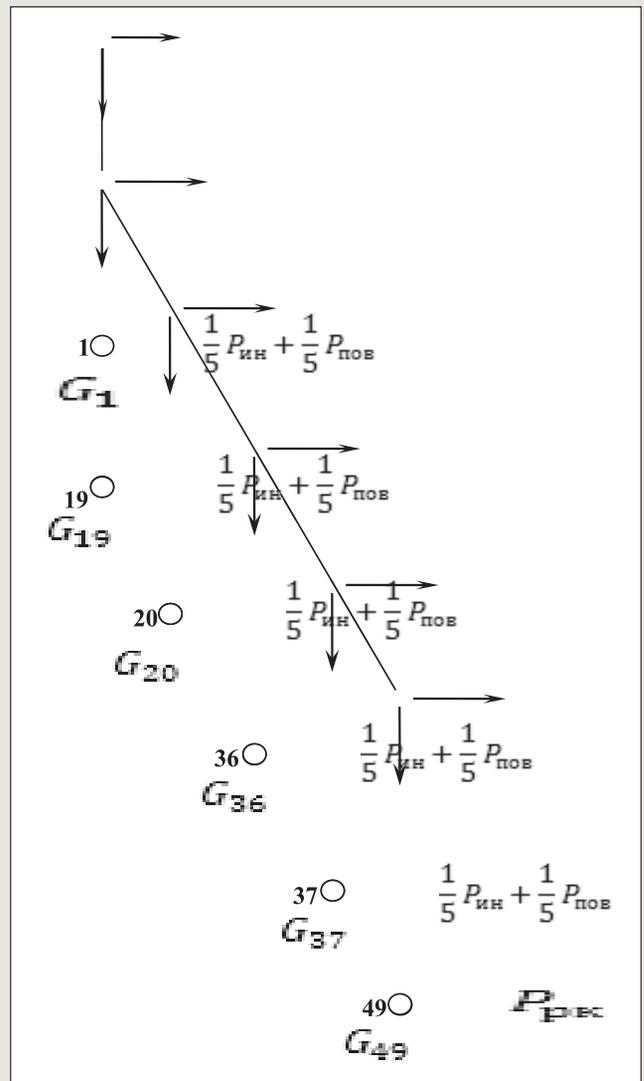


Рис. 2. Силовое воздействие на узловые точки почвенного массива

Fig. 2. Force action on the soil body nodal points

шения пласта и расчетные величины тяговых сопротивлений представлены в таблицах 2 и 3. Силу инерции и тяговое усилие поверхности прикладываем к узловым точкам: 1, 19, 20, 36, 37.

На рисунке 2 представлено силовое воздействие на узловые точки почвенного массива.



Фрагменты грузового столбца с нагрузкой, приложенной в узловых точках 1, 19, 20, 36, 37, 49, представлены в таблице 4. В матрицу жесткости входит глобальная матрица B^{-1} , которая в силу своей симметричности имеет вид:

$$B^{-1} = \frac{E \cdot \delta}{12 \cdot (1 - \mu^2)} \times \begin{bmatrix} b_1^{-1} & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & b_n^{-1} \end{bmatrix}, \quad (10)$$

где μ – коэффициент Пуассона.

В данной матрице n обозначает число элементов исследуемого массива. Для нашего случая $n=73$. Решение системы алгебраических уравнений в программе *LabVIEW* дает возможность определить перемещения u_i и v_i каждой из 49 узловых точек.

Удельная потенциальная энергия почвенного фрагмента равна:

$$u = \frac{\Pi}{V}, \quad (11)$$

где Π – потенциальная энергия деформируемого элемента, Дж;

V – объем элементарного почвенного фрагмента.

Потенциальную энергию деформируемого элемента вычисляем по формуле:

$$\Pi = \frac{1}{2} \cdot z^T \cdot r \cdot z, \quad (12)$$

где z, z^T – перемещения узловых точек;

r – матрица жесткости почвенного фрагмента:

$$r = a \cdot b^{-1} \cdot a^T, \quad (13)$$

где a – промежуточная матрица, связывающая независимые силы со всеми силами, действующими на элементарный почвенный фрагмент;

b^{-1} – промежуточная матрица, связывающая независимые силы и перемещения от независимых сил;

a^T – промежуточная матрица, связывающая перемещения от независимых сил и перемещения от всех сил, действующих на элементарный почвенный фрагмент.

На рисунке 3 заштрихованы области элементарных почвенных фрагментов, в которых величина удельной потенциальной энергии разрушения для суглинистой почвы превы-

Table 4		Таблица 4
ФРАГМЕНТЫ ГРУЗОВОГО СТОЛБЦА В УЗЛОВЫХ ТОЧКАХ		LOAD COLUMN FRAGMENTS IN THE NODAL POINTS
Узловые точки	Nodal points	Нагрузка узловых точек, Н
		Nodal points load, N
1		71
		-0,24
19		71
		-0,24
20		71
		-0,24
36		71
		-0,24
37		71
		-0,24
49		257
		-0,24



Рис. 3. Области возможного разрушения деформируемого слоя
Fig. 3. Zones of eventual crushing of deformed layer

шает 7622 Н/м² при абсолютной влажности – 20,73%.

Выделяются три характерных участка напряженно-деформированного состояния: нижний, средний, верхний. В нижнем участке происходит разрушение почвенных комков вследствие их вдавливания в стенку пласта, так как режущая кромка долотообразной лапы работает в условиях заблокированного резания. Средний участок будет отправной точкой формирования критической глубины резания. Для двух слоев верхнего участка разрушение комков будет протекать в условиях полублокированного резания с их выдавливанием на дневную поверхность поля.

Величина удельной потенциальной энергии почвенных фрагментов 1 и 2 верхнего участка в зоне возмущенного состояния будет соответствовать величине удельной потенциальной энергии почвенных фрагментов по ходу движения в зоне внедрения.

С учетом этого для верхнего участка длина зоны разрушения по ходу движения составила $L_1=0,12$ м. Ширина зоны разрушения $L_2=0,1$ м. Критическая глубина резания $L_3=0,08$ м.

Коэффициент крошения пласта K_p равен:

$$K_p = \frac{K_{pi} \cdot n_i}{N}, \quad (14)$$

где K_{pi} – коэффициент крошения при определенной величине потенциальной энергии, накопленной элементарным фрагментом, %;

n_i – число элементарных фрагментов, соответствующих этой накопленной потенциальной энергии;

N – число элементарных фрагментов среднего и

верхнего участка взаимодействия.

При влажности 22,07% и величине удельной потенциальной энергии 13720 Н/м² коэффициент крошения составил 22%, а при влажности 18,04% и величине удельной потенциальной энергии 13720 Н/м² его значение равно 23%. Анализируя величину удельной потенциальной энергии почвенных фрагментов второго слоя верхнего участка, можно заметить, что только два элемента под №13 будут разрушены. Коэффициент крошения будет находиться в пределах 22%. При исследовании состояния первого слоя верхнего участка приходим к выводу о возможном разрушении 12 элементарных почвенных фрагментов. Два фрагмента накопят удельную потенциальную энергию 19112 Па. И для первого слоя коэффициент крошения будет составлять 22%. Таким образом, коэффициент рыхления зоны возмущенного состояния не превысит 22%.

Выводы

1. Разработана методика расчета величины удельной потенциальной энергии деформируемых почвенных фрагментов, позволяющая с помощью экспериментально полученных значений указанной величины прогнозировать такие показатели качества, как геометрические параметры зоны разрушения и показатель крошения.

2. Для верхнего участка длина зоны разрушения по ходу движения составила $L_1=0,12$ м. Ширина зоны разрушения $L_2=0,1$ м. Критическая глубина резания $L_3=0,08$ м. Коэффициент рыхления зоны возмущенного состояния не превысит 22%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Макарец И.К. Степень крошения почвы при обработке // Земледелие. 1985. №5. С. 23-24.
- Саакян Д.Н. Система показателей комплексной оценки мобильных агрегатов. М.: Агропромиздат, 1988. 144 с.
- Лобачевский Я.П. Прочностные и деформационные свойства связанных задерненных почв // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2011. №3. С. 18-20.
- Chi L., Krushwaha R.L. Three dimensional non-linear finite element analysis of soil failure under a simple narrow tillage tool. St. Joseph, Mich., 1987: 27.
- Stafford J.V. Sensing soil failure under for dynamic implement control. St. Joseph, Mich., 1986: 17.
- Добротворский, И.В. Описание поведения почвы под нагрузкой с помощью метода конечных элементов // Научно-технический бюллетень ВАСХНИЛ СО. 1984. Вып. 38. С. 18-24.
- Swick W.C., Perumpral J.V. A model for predicting soil-tool interaction. Journal of Terramechanics. 1988. Vol. 25; 1: 43-56.
- Старовойтов, С.И., Старовойтова Н.П., Блохин В.Н., Чемисов Н.Н. К условию начала процесса крошения пласта при содержании почвы под черным паром // Плодоводство и ягодоводство России. 2012. Т. 29, Ч. 2. С. 171-177.
- Лобачевский Я.П., Эльшеих А.Х. Обоснование расстановки дисковых рабочих органов в комбинированных почвообрабатывающих агрегатах // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2009. №4. С. 22-25.
- Измайлов А.Ю., Сидоров С.А., Лобачевский Я.П., Хорошенков В.К., Кузнецов П.А., Юрков М.А., Голосиенко С.А. Научные принципы повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающей техники // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2012. №3. С. 5-7.
- Лобачевский Я.П. Новые почвообрабатывающие технологии и технические средства // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2000. №8. С. 30-32.
- Лобачевский Я.П. Современные почвообрабатывающие технологии. М.: МГАУ, 1999. 40 с.
- Старовойтов С.И., Комогорцев В.Ф. Обоснование передней поверхности рабочего органа чизельного культиватора // Достижения науки и передовой опыт в производстве и учебно-воспитательный процесс: Материалы научно-технической конференции студентов, преподавателей и сотрудников МГАУ. 2012. С. 10-12.



давателей и аспирантов Брянской ГСХА. Брянск: Брянская ГСХА, 1996. С. 35-37.

14. Старовойтов С.И., Чемисов Н.Н. К определению модуля упругости первого рода // Вестник МГАУ имени В.П. Горячкина. 2011. N1. С. 39-40.

15. Старовойтов С.И., Чемисов Н.Н. К определению коэффициента Пуассона среднесуглинистой почвы // Инновационные процессы в АПК: Сборник научных статей IV Международной научно-практической конферен-

ции преподавателей, молодых ученых, аспирантов и студентов. М.: РУДН, 2012. С. 280.

16. Старовойтов С.И., Старвойтова Н.П., Чемисов Н.Н. К определению предела прочности среднесуглинистой почвы при сжатии // Молодежь и инновации: Материалы Международной научно-практической конференции. Республика Беларусь, Горки: Белорусская ГСХА. 2011. С. 20.

REFERENCES

1. Makarets I.K. Soil crumbling rate at cultivation. *Zemledelie*. 1985; 5: 23-24. (In Russian)

2. Saakyan D.N. Sistema pokazateley kompleksnoy otsenki mobil'nykh agregatov [System of indicators for complex assessment of mobile units]. Moscow: Agropromizdat, 1988: 144. (In Russian)

3. Lobachevskiy Ya.P. Strength and deformation properties of grassed soils. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2011; 3: 18-20. (In Russian)

4. Chi L., Krushwaha R.L. Three dimensional non-linear finite element analysis of soil failure nuder a simple narrow tillage toil. St. Joseph, Mich., 1987: 27. (In English)

5. Stafford J.V. Sensing soil failure nide for dynamic implement control. St. Joseph, Mich., 1986: 17. (In English)

6. Dobrotvorskiy I.V. Description of soil behavior at loading by means of method of final elements. *Nauchno-tekhnicheskyy byulleten' VASKhNIL SO*. 1984; 38: 18-24. (In Russian)

7. Swick W.C., Perumpral J.V. A model for predicting soil-tool interection. *Journal of Terramechanics*. 1988. Vol. 25; 1: 43-56. (In English)

8. Starovoytov, S.I., Starovoytova N.P., Blokhin V.N., Chemisov N.N. To a condition of beginning of process of soil layer crumbling at clean cultivation. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii*. 2012. Vol. 29; 2: 171-177. (In Russian)

9. Lobachevskiy Ya.P., El'sheikh A.Kh. Justification of placement of disk working tools in combined soil-cultivating units. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2009; 4: 22-25. (In Russian)

10. Izmaylov A.Yu., Sidorov S.A., Lobachevskiy Ya.P., Khoroshenkov V.K., Kuznetsov P.A., Yurkov M.A., Golosienko S.A. Scientific principles of increase of wear resistance of working tools of soil-cultivating machinery. *Vestnik*

rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki. 2012. N3. S. 5-7. (In Russian)

11. Lobachevskiy Ya.P. New soil-cultivating technologies and technical means. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2000. N8. S. 30-32. (In Russian)

12. Lobachevskiy Ya.P. Sovremennyye pochvoobrabatyvayushchie tekhnologii [Modern soil-cultivating technologies]. Moscow: MGAU, 1999: 40. (In Russian)

13. Starovoytov S.I., Komogortsev V.F. Obosnovanie peredney poverkhnosti rabocheho organa chizel'nogo kul'tivatora [Justification of a forward surface of working element of chizel cultivator]. *Dostizheniya nauki i peredovoy opyt v proizvodstvo i uchebno-vospitatel'nyy protsess: Materialy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, prepodavateley i aspirantov Bryanskoy GSKhA*. Bryansk: Bryanskaya GSKhA, 1996: 35. (In Russian)

14. Starovoytov S.I., Chemisov N.N. K opredeleniyu modulya uprugosti pervogo roda // *Vestnik MGAU imeni V.P. Goryachkina*. 2011. N1. S. 39-40. (In Russian)

15. Starovoytov, S.I., Chemisov N.N. K opredeleniyu koeffitsienta Puassona srednesuglinistoy pochvy [Revisiting determination of Poisson ratio of average loamly soil]. *Innovatsionnye protsessy v APK: Sbornik nauchnykh statey IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii prepodavateley, molodykh uchenykh, aspirantov i studentov*. Moscow: RUDN, 2012: 280. (In Russian)

16. Starovoytov S.I., Starovoytova N.P., Chemisov N.N. K opredeleniyu predela prochnosti srednesuglinistoy pochvy pri szhatii [Revisiting determination of strength of average soil at compression]. *Molodezh' i innovatsii: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Republic of Belarus, Gorki: Belorusskaya GSKhA. 2011: 20. (In Russian)

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

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

ВЛИЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СВЕТА НА РАЗВИТИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Тертышная Ю.В.^{1,2*}, канд. хим. наук;

Левина Н.С.¹

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

² Институт биохимической физики им. Н.М. Эмануэля, ул. Косыгина, 4, Москва, 119334, Российская Федерация, *e-mail: moraxella@bk.ru

Повышение урожайности – одна из приоритетных задач агрокомплекса России. Во многих районах страны возделывание большинства овощей в открытом грунте затруднено или невозможно в связи с тяжелыми климатическими условиями. Выращивание в теплицах, специальных аэропонных установках, фитотронах частично решает эту проблему. Установлено, что для производства различных культур, пригодных для питания или в качестве посевного материала, требуется комплекс условий, а именно: оптимальная температура, влажность и самое главное – освещенность. Отмечено, что малая интенсивность или нехватка света определенной длины волны негативно отражается на морфогенезе выращиваемых культур. Показано, что для роста растений наиболее эффективны оптические спектры красной и синей областей с длинами волн 640-660 нм и 430-460 нм соответственно. Установлено, что подсвечивание красным светом способствует фазе прорастания пшеницы и увеличивает показатель выхода 1-го листа в 2,5 раза. Экспериментально определено влияние красного и синего света на урожайность мини-клубней картофеля: светодиодные лампы в режиме 660+450 нм могут заменить энергоемкие натриевые, поскольку значения массы клубней картофеля при разном освещении оказались близкими, составив 176,1 и 183,6 г соответственно. Определено, что при выращивании китайской капусты светодиодные лампы (СД) тоже могут заменить дорогие натриевые: содержание белка составило 17,4 мг/г при СД-освещении и 16,4 мг/г в случае натриевых ламп, а доля растворимых сахаров от общего объема сахаров – 100 и 50 процентов соответственно. Показано, что при уровне освещения 350-400 мкмоль на 1 кв. м в секунду светильники на основе красных и синих светодиодов по плотности потока фотонов в целом обеспечивают адекватные условия освещения для выращивания многих сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: закрытый грунт, освещение, спектральный состав света, рост и развитие растений, фотосинтез, светодиод. DOI 10.22314.2073-7599-2016.5.24-29

■ **Для цитирования:** Тертышная Ю.В., Левина Н.С. Влияние спектрального состава света на развитие сельскохозяйственных культур // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. N5. С. 24-29.

EFFECT OF LIGHT SPECTRUM ON CROPS GROWTH

Yu.V. Tertyshnaya^{1,2*}, Cand. Sci. (Chemistry); N.S. Levina¹

¹ Emanuel Institute of Biochemical Physics, Kosygin st., 4, Moscow, Russia

² All-Russia Research Institute of Mechanization for Agriculture, 1st Institutskiy proezd, 5, Moscow, Russian Federation, *e-mail: moraxella@bk.ru

Productivity increase is one of priority problems of an agrarian complex in Russia. In many regions of the country cultivation of the majority of vegetables in an open ground is complicated or it is impossible because of severe climatic conditions. Plan cultivation in greenhouses, special aeroponic installations, phytothrone partially solves this problem. Production of various cultures suitable for food or as sowing material requires a complex of conditions, namely: optimum temperature, humidity and such the most important factor as illumination. Small intensity or shortage of light of a certain wavelength influence negatively on a morphogenesis of the grown-up cultures. Red and blue optical spectrums with lengths of waves of 640-660 nanometers and 430-460 nanometers respectively are most effective for growth of plants. Red highlighting promotes a phase of germination of wheat and increases by 2.5 times an indicator of a 1st leaf emergence. Influence of red and blue light on productivity of potato mini-tubers is experimentally defined: LED lamps in the mode of 660+450 nanometers can replace power-intensive sodium ones because values of weight of potato tubers at different

lighting were close, having made 176.1 and 183.6 g respectively. At Brassica chinensis cultivation LED lamps can replace expensive sodium ones too: protein content made 17.4 mg per g at LED illumination and 16.4 mg per g in case of sodium lamps, and a share of soluble sugars from the total amount of sugars equals 100 and 50 percent respectively. At the illumination level of 350-400 mcM per 1 sq. m and a 1 second lamps on the basis of red and blue light-emitting diodes on density of a stream of photons in general provide adequate conditions of lighting for cultivation of many crops.

Keywords: Area under cover; Light spectrum; Growth and evolution of plants; Photosynthesis; Light emitting diode. DOI 10.22314.2073-7599-2016.5.24-29

For citation: Tertyshnaya Yu.V., Levina N.S. Effect of light spectrum on crops growth. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016; 5: 24-29. (In Russian)

Цель исследования – изучение влияния спектрального состава света на рост и развитие зерновых и овощных культур.

Результаты и обсуждение. На рост и развитие сельскохозяйственных культур прежде всего влияют температура, свет, влажность почвы, газообмен со средой. Однако в конечном итоге именно фотосинтетическая и дыхательная деятельность растений определяет их качество и урожайность.

Солнечный свет – источник энергии для растений (рис. 1) [1]. Его спектр широк, но растения в процессе фотосинтеза поглощают свет только определенных длин волн, а их спектральная чувствительность значительно отличается от чувствительности человеческого глаза. Спектр света делится на следующие области (рис. 2) [2]:

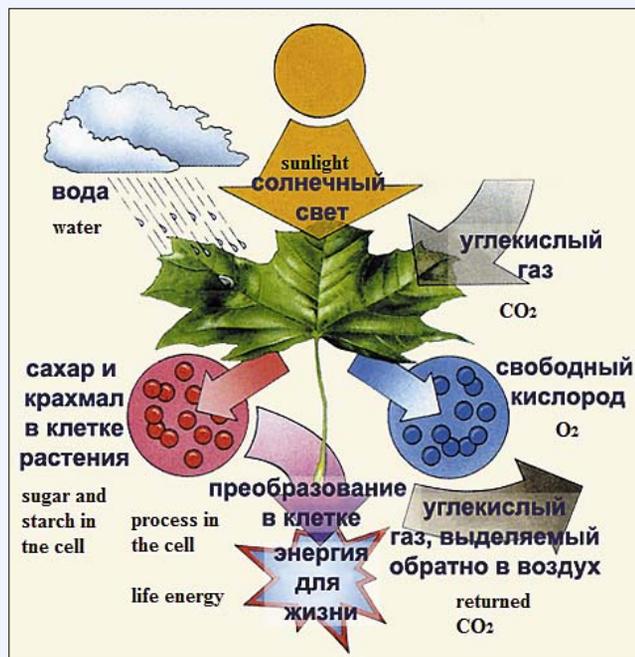


Рис. 1. Фотосинтез. Схема
Fig. 1. Photosynthesis. Scheme

- 380 нм и ниже – ультрафиолетовая;
- 380-430 нм – фиолетовая;
- 430-490 нм – синяя;
- 490-570 нм – зеленая;

- 570-600 нм – желтая;
- 600-780 нм – красная;
- 780 нм и выше – инфракрасная.

Ультрафиолетовая часть спектра ниже 280 нм оказывает негативное и даже губительное влияние

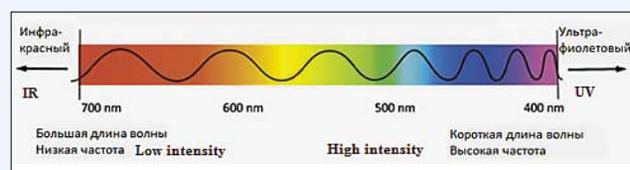


Рис. 2. Спектр видимого света
Fig. 2. Visible light spectrum

на растения: листья желтеют и становятся бурого цвета, а стебли скручиваются [3]. Но в реальной жизни такие лучи практически не попадают на поверхность земли, так как задерживаются озоновым слоем.

Зеленая область – далеко не решающий фактор влияния на растение. Зеленый спектр света способен свободно пройти через листья, процесс фотосинтеза при этом будет минимальным. Растения сильно отстают в развитии, а некоторые сорта овощных и зерновых культур вообще не растут.

Известно, что синий свет с длиной волны 430-460 нм необходим для вегетативной стадии роста, в целом способствуя укреплению растений, развитию корневой системы, стебля, листьев [4]. В начальной стадии развития растения синий свет, безусловно, имеет большое значение. При недостатке в спектре синего света растения рано вытягиваются, имеют слабый стебель с длинными междоузлиями. При этом на данной фазе роста фотопериод, то есть время и ритм освещенности, не имеет большого значения, главное, чтобы растениям хватало света для собственного развития, то есть их можно подсвечивать практически 24 ч в сутки.

Красный свет необходим растениям для цветения и плодоношения. Если в освещении превалирует красный свет, то это становится сигналом к ускоренному росту, развитию и цветению [5]. Большое количество красного света в спектре в природе возникает при затенении растений. В ответ на

развитие конкурентов растения начинали бурный рост и плодоношение. Для этой фазы развития растений становится важен фотопериодизм. Для каждого вида растения он свой, в среднем он соответствует периоду 12-16 ч.

Фотопериодическая индукция цветения (фотопериодизм) – способность растений переходить к цветению только при определенном соотношении продолжительности дня и ночи. Фотопериодизм представляет собой приспособительную реакцию, позволяющую растениям зацвести в определенное, наиболее благоприятное время года. При этом длина дня действует на зацветание разных растений неодинаково.

Короткодневные растения зацветают при длине ночи более 12-14 ч. Для перехода их к цветению важна продолжительность темного периода, а не длина дня. Если в середине темного периода дать короткую вспышку света, то короткодневные растения к цветению уже не переходят. Представители: рис, соя, кукуруза, просо, тыквенные, перец, баклажан, многие бобовые, хризантема.

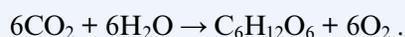
Длиннодневные растения зацветают при продолжительности дня более 12 ч. К ним относятся хлебные злаки, крестоцветные, укроп, клевер, свекла, морковь и др.

Нейтральнодневные растения зацветают при любой длине дня. Представители: некоторые сорта гречихи, гороха, хлопчатника, растения с широким ареалом и тропические виды.

В последние годы ведутся исследования в области новых сельскохозяйственных материалов, технологий, методов, в сфере микроразмножения и улучшения сортов важнейших сельскохозяйственных культур [6-9]. Для этого используют инновационные современные методы выращивания: аэропонику, гидропонику, фитотроны [10, 11].

Гидропоника и аэропоника – технологии выращивания растений без почвы на водных питательных растворах, в которых все необходимые элементы питания подаются в легкоусвояемой форме, нужных соотношениях и концентрациях. В вышеуказанных технологиях огромную роль играют питательный раствор и свет. Последний, по мнению многих исследователей, – наиважнейший фактор, влияющий на рост и развитие растений. При недостатке света у растений происходят глубокие анатомические и физиологические изменения: плохо развиваются механические ткани, устьица, не развивается столбчатая паренхима, отсутствуют хлопчатые, наблюдаются длинные междоузлия.

Как было отмечено выше, свет влияет на фотосинтез. Его суммарное уравнение:



Фотосинтез – процесс, при котором днем вода

разделяется на кислород и водород, запасается энергия, а ночью растения превращают воду и углекислый газ в органические соединения. Для этого они используют два типа хлорофилла *a* и *b* – с достаточно узким диапазоном поглощения света в красном и синем спектре (рис. 3) [12-14].

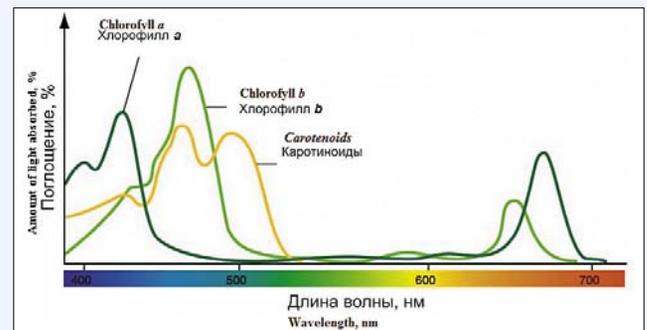


Рис. 3. Спектр поглощения света каротиноидами и хлорофиллами *a* и *b*

Fig. 3. Spectrum of light absorption by carotenoids and *a*, *b* chlorophylls

Для хлорофилла *a* характерно наличие двух пиков поглощения на длинах волн – 430 и 662 нм, для *b* – 453 и 642 нм соответственно.

В зависимости от условий освещенности растения приобретают оптимальную форму для поглощения света в конкретных условиях. Считается, что спектры синего (430-460 нм) и красного (640-660 нм) света вполне подходят для выращивания большинства растений [15]. Иногда используется длина волны 612 нм, то есть оранжевый свет, но этот свет не участвует в процессе фотосинтеза, а используется бактериями, грибами и растениями только для синтеза каротиноидов, поэтому его влияние невелико.

Значительно важнее для развития растений правильное соотношение красного и синего спектров [14]. Существует также мнение, что наиболее эффективен диффузный свет. Интенсивность света от вертикального источника сильно снижается после прохождения через лист. Верхний лист получает 100% света, лист, находящийся под верхним – 20%, третий – всего 4%. При искусственном освещении рекомендуется располагать источники света так, чтобы излучение падало под различными углами, что можно осуществить в контролируемых условиях [15]. Таким образом, в аэропонных установках, фитотронах, когда световые параметры можно задавать и регулировать, повышение эффективности выращивания растений может быть достигнуто путем создания оптимального светового режима.

Для активации цветения и плодоношения важно задавать суточный ритм, близкий к природному для данного растения, с достаточным количеством энергии света. Фитотрон позволяет прове-



сти эксперимент в замкнутой системе от фазы посева до созревания колоса (максимальный результат). При этом важно поддерживать оптимальные условия по температуре воздуха, влажности почвы, аэрации – системы газообмена с внешней средой, светового режима.

Одна из наиболее часто исследуемых культур – пшеница. Как известно, ее развитие проходит несколько фаз (рис. 4) [16].

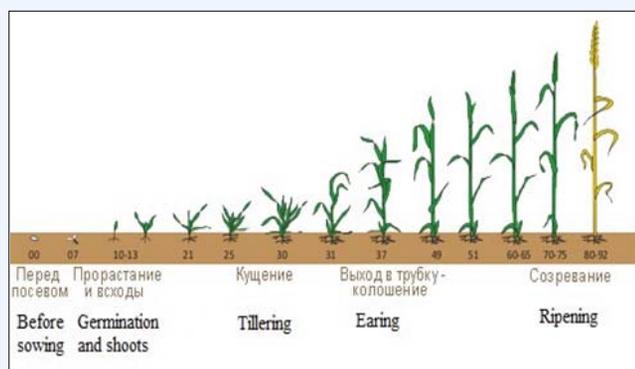


Рис. 4. Фазы развития пшеницы (по Задоксу)
Fig. 4. Phases of wheat growth (by Zadoks)

При изучении влияния красного света на процессы роста пшеницы сорта Белорусская 80 выявлено, что красный свет, проходя через фитохромную систему, значительно усиливает процессы роста, морфогенеза, мобилизации питательных веществ семени и зеленения. Данные представлены в таблице 1.

№ опыта № exper.	Контроль Control	Красный свет Red light
1	0	13
2	8	16
3	11	12
4	8	26
Среднее значение Average value	7	17
%	100	242

Подсвечивание красным светом способствует фазе прорастания пшеницы и значительно увеличивает выход 1-го листа – в 2,5 раза. Исследование показало также влияние красного света на развитие корней: сухая масса корней оказалась выше для растений, которые подвергались его воздействию.

Установлена взаимосвязь между спектральным составом света и урожайностью мини-клубней кар-

тофеля [17]. Мини-клубни картофеля сорта Невский, полученные в аэропной установке, высаживали в 5-литровые сосуды, наполненные почвенным субстратом, после чего помещали под различные источники света. Использовали натриевые лампы ДНАТ-600 и светодиодные (СД) облучатели: красный (660 нм) + синий (450 нм) спектры в соотношении 40:20 (1 Вт/1 СД) и красный (630 нм) + синий (470 нм) свет в соотношении 48:24 (1 Вт/1 СД). Наблюдали влияние света на фазы развития мини-клубней картофеля. В конце вегетации в условиях светодиодного облучения в режиме 630+470 нм масса клубней с одного растения составляла 18,6 г, в режиме 660+450 нм – 176,1 г. Под действием натриевых ламп ДНАТ-600 выход клубней составил 183,6 г. Из этих данных следует, что светодиодные лампы в режиме 660+450 нм могут заменить энергоемкие натриевые.

Влияние светодиодных ламп на рост и развитие капусты брокколи (*Brassica oleracea L.*) и салата (*Lactuca sativa L.*) изучали в исследовании [18]. Показано влияние СД высокой интенсивности на процессы роста растений.

Авторы работы исследовали влияние света, а также влияние его интенсивности на рост китайской капусты (*Brassica chinensis L.*) сорта Веснянка (табл. 2) [19]. Была выбрана интенсивность освещения 400 и 100 мкмоль/(м²с), определены морфологические параметры и содержание сахаров при вышеуказанных интенсивностях, а также при переходе освещения от 100 к 400 мкмоль/(м²с). В ходе эксперимента было определено, что на 27-й день вегетации содержание сахаров растений под натриевыми лампами (НЛ) в 1,2 раза превышало содержание сахаров растений, выращенных под светодиодами.

Суммарное содержание сахаров в 15-дневном возрасте в вариантах НЛ и СД составляло, соответственно, 174,9±31,2 и 86,2±8,9 мг/г сухой массы, а также 256,4±12,9 и 213,4±15,5 мг/г сухой массы в 27-дневном возрасте. При этом доля растворимых сахаров от общего объема сахаров у растений НЛ – варианта составила около 50%, а при освещении СД была близка к 100%.

Что касается содержания растворимого белка, то существенных различий между вариантами не наблюдалось. Содержание белка во втором снизу листе у 15-дневных растений составило 16,4±1,0 и 17,4±0,8 мг/г сырой массы для вариантов НЛ и СД соответственно.

Полученные экспериментальные данные позволяют говорить о том, что при уровне освещения 350-400 мкмоль/(м²с) светильник на основе красных и синих светодиодов, при соотношении красной и синей составляющих излучения 7:1, по плотности потока фотонов в целом обеспечивает адекватные условия освещения.

Table 2		Таблица 2		
ДЕЙСТВИЕ СВЕТОДИОДНОГО СВЕТИЛЬНИКА ПО СРАВНИЕНИЮ С НАТРИЕВОЙ ЛАМПОЙ (СД/НЛ, %) НА ИССЛЕДУЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ КИТАЙСКОЙ КАПУСТЫ СОРТА ВЕСНЯНКА НА 27-й ДЕНЬ ВЫРАЩИВАНИЯ				
EFFECT OF LIGHT EMITTING DIODE (LED) COMPARED WITH SODIUM LAMP (SL) ON THE STUDIED PARAMETERS OF BRASSICA CHINENSIS VESNYANKA CULTIVAR ON THE 27-TH DAY OF CULTIVATION (LED/ SL, %)				
Параметры, % Parameters, %	400*	100**	100→400***	
Масса сухого вещества Dry matter weight	66,7	50,5	53,3	
Масса побега/масса корня по сухой массе Shoot/ root on a dry matter basis	231,1	133,8	61,2	
Суммарное содержание сахаров в расчете на массу сухого вещества Total sugar content on a dry matter basis	83,2	50,4	38,7	
Содержание растворимых сахаров в расчете на массу сухого вещества Soluble sugars content on a dry matter basis	182,6	46,8	52,0	
*400 – интенсивность освещения около 400 мкмоль/(м ² с); **100 – интенсивность освещения около 100 мкмоль/(м ² с); ***100 → 400 – интенсивность освещения 100 мкмоль/(м ² с) в первые 12 дней вегетации, далее – интенсивность освещения 400 мкмоль/(м ² с) *400 – intensity of illumination of about 400 mcM/(m ² s); **100 – intensity of illumination of about 100 mcM/(m ² s); ***100 → 400 – intensity of illumination of about 100 mcM/(m ² s) during 12 days of vegetation period, after 12 days – intensity of illumination of about 400 mcM/(m ² s).				

Выводы

1. Обзор исследовательских работ позволяет заключить, что интенсивность освещения и спектральный состав света играют ключевую роль в процессе роста и развития растений, а также оказывает влияние на биохимический состав выращиваемых культур. Синий свет с длинами волн 430-460 нм способствует укреплению растений, развитию корневой системы. Красный свет необходим для цветения и плодоношения. Спектры 430-460 нм для синего и 640-660 нм для красного света подходят для выращивания большинства растений.

2. Анализ экспериментальных данных показывает, что светодиодные лампы в режиме 660+450 нм могут заменить энергоемкие натриевые, так как значения массы клубней картофеля при освещении СД и НЛ оказались близки – 176,1 и 183,6 граммов соответственно. Кроме того, подсвечивание красным светом ускоряет выход 1-го листа пшеницы в 2,5 раза.

3. Красно-синие СД при оптимальной интенсивности освещения позволяют успешно выращивать растения, однако детальное изучение состояния фотосинтетического аппарата (ФСА) этих растений и их реакции на варьирование интенсивности освещения показывает наличие особенностей функционирования ФСА и освещения. Такие особенности предстоит исследовать в дальнейшем на различных зерновых и овощных культурах.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. URL: [http://files.school-collection.edu.ru/dlrstore/ad932ea9-1c22-4702-b3f4-6b31de89e260/\[BI6ZD_7-04\]_\[IL_03\]-k.jpg](http://files.school-collection.edu.ru/dlrstore/ad932ea9-1c22-4702-b3f4-6b31de89e260/[BI6ZD_7-04]_[IL_03]-k.jpg).
2. URL: <http://bcoreanda.com/Images/Articles/Spectrum.jpg>.
3. Тихомиров А.А., Шарупич В.П., Лисовский Г.М. Светокультура растений: биофизические и биотехнологические основы. Новосибирск: СО РАН, 2000. 213 с.
4. Goggin D.E., Steadman K.J. Blue and green are frequently seen: responses of seeds to short- and mid-wavelength light. *Seed Science Research*. 2012; 22: 27-35.
5. Василенко В.Ф., Кузнецов Е.Д. Физиологические и экологические аспекты использования химической и световой регуляции роста растений // Вестник сельскохозяйственной науки. 1990. N7. С. 63-68.
6. Шибряева Л.С., Тертышная Ю.В., Пальмина Д.Д., Левина Н.С. Биодegradируемые полимеры как материалы для высевы семян зерновых культур // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. N 6. С. 14-18.
7. Möglich A., Moffat K. Engineered photoreceptors as novel optogenetic tools. *Photochemical & photobiological sciences*. 2010; 9: 1286-1300.
8. Sahebamei H., Abdolmaleki P., Ghanati F. Effects of Magnetic Field on the Antioxidant Enzyme Activities of Suspension-Cultured Tobacco Cells. *Bioelectromagnetics*. 2007; 24: 42-47.
9. Мартиросян Ю.Ц., Мартиросян В.В., Зернов В.Н. Новые технологии в производстве оздоровленного семенного картофеля // Аграрный вопрос. 2012. N5. С. 18-19.
10. Измайлов А.Ю., Гришин А.А., Гришин А.П. Аэропонный модуль для фитотронов // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2013. N5. С. 20-22.
11. Гришин А.П. Приложения принципов синергетики для моделирования процесса орошения в фитотроне // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2011. N5. С. 20-23.
12. URL: <http://www.aqa.ru/assets/images/docs201008/photosintez2.png>.
13. Pfeiffer A., Kunkel T., Hiltbrunner A., Neuhaus G., Wolf I., Speth V., Adam E., Nagy F., Schafer E. A cell-free system for light-dependent nuclear import of phytochrome. *Plant Journal*. 2009; 57: 680-689.
14. Muneer S., Kim E.J., Park J.S., Lee J.H. Influence of green, red and blue light emitting diodes on multiprotein complex proteins and photosynthetic activity under different light intensities in lettuce leaves (*Lactuca sativa* L.). *International journal of molecular sciences*. 2014; 15: 4657-4670.
15. Тихомиров А.А., Лисовский Г.М., Сидько Ф.Я.



Спектральный состав света и продуктивность растений. Новосибирск: Наука, 1991. 168 с.

16. URL: http://files.studfiles.ru/2706/271/html_7rgXS8r7hG.zNUg/htmlconvd-NlqrdL_html_m19574cb5.jpg.

17. Мартиросян Ю.Ц., Полякова М.Н., Диловарова Т.А., Кособрюхов А.А. Фотосинтез и продуктивность растений картофеля в условиях различного спектрального облучения // Сельскохозяйственная биология. 2013. №1. С. 107-112.

18. Pardo G.P., Aguilar C.H., Martínez F.R., Canseco

M.M. Effects of light emitting diode high intensity on growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and broccoli (*Brassica oleracea* L.) seedlings. *Annual Research & Review in Biology*. 2014; 19: 2983-2994.

19. Аверчева О.В., Беркович Ю.А., Ерохин А.Н., Жигалова Т.В., Погосян С.И., Смолянина С.О. Особенности роста и фотосинтеза растений китайской капусты при выращивании под светодиодными светильниками // Физиология растений. 2009. Т. 56. №1. С. 17-26.

REFERENCES

1. URL: [http://files.school-collection.edu.ru/dlrstore/ad932ea9-1c22-4702-b3f4-6b31de89e260/\[BI6ZD_7-04\]_\[IL_03\]-k.jpg](http://files.school-collection.edu.ru/dlrstore/ad932ea9-1c22-4702-b3f4-6b31de89e260/[BI6ZD_7-04]_[IL_03]-k.jpg).

2. URL: <http://bcoreanda.com/Images/Articles/Spectrum.jpg>.

3. Tikhomirov A.A., Sharupich V.P., Lisovskiy G.M. Svetokul'tura rasteniy: biofizicheskie i biotekhnologicheskie osnovy [Photoculture of plants: biophysical and biotechnological bases]. Novosibirsk: SO RAN, 2000: 213. (In Russian)

4. Goggin D.E., Steadman K.J. Blue and green are frequently seen: responses of seeds to short- and mid-wavelength light. *Seed Science Research*. 2012; 22: 27-35. (In English)

5. Vasilenko V.F., Kuznetsov E.D. Physiological and ecological aspects of use of chemical and light regulation of plants growth. *Vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 1990; 7: 63-68. (In Russian)

6. Shibryaeva L.S., Tertyshnaya Yu.V., Pal'mina D.D., Levina N.S. Biodegraded polymers as materials for sowing of grain crops seeds. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2015; 6: 14-18. (In Russian)

7. Möglich A., Moffat K. Engineered photoreceptors as novel optogenetic tools. *Photochemical & photobiological sciences*. 2010; 9: 1286-1300. (In English)

8. Sahebamei H., Abdolmaleki P., Ghanati F. Effects of Magnetic Field on the Antioxidant Enzyme Activities of Suspension-Cultured Tobacco Cells. *Bioelectromagnetics*. 2007; 24: 42-47. (In English)

9. Martirosyan Yu.Ts., Martirosyan V.V., Zernov V.N. New technologies in production of revitalized seed potatoes. *Agrarnyy vopros*. 2012; 5: 18-19. (In Russian)

10. Izmaylov A.Yu., Grishin A.A., Grishin A.P. Aeroponic module for phytothrone. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2013; 5: 20-22. (In Russian)

11. Grishin A.P. Synergetics principles applications for modeling of irrigation process in phytothrone. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2011; 5: 20-23. (In Russian)

12. URL: <http://www.aqa.ru/assets/images/docs201008/photosintez2.png>.

13. Pfeiffer A., Kunkel T., Hiltbrunner A., Neuhaus G., Wolf I., Speth V., Adam E., Nagy F., Schafer E. A cell-free system for light-dependent nuclear import of phytochrome. *Plant Journal*. 2009; 57: 680-689. (In English)

14. Muneer S., Kim E.J., Park J.S., Lee J.H. Influence of green, red and blue light emitting diodes on multiprotein complex proteins and photosynthetic activity under different light intensities in lettuce leaves (*Lactuca sativa* L.). *International journal of molecular sciences*. 2014; 15: 4657-4670. (In English)

15. Tikhomirov A.A., Lisovskiy G.M., Sid'ko F.Ya. Spektral'nyy sostav sveta i produktivnost' rasteniy. Novosibirsk: Nauka, 1991: 168. (In Russian)

16. URL: http://files.studfiles.ru/2706/271/html_7rgXS8r7hG.zNUg/htmlconvd-NlqrdL_html_m19574cb5.jpg.

17. Martirosyan Yu.Ts., Polyakova M.N., Dillovarova T.A., Kosobryukhov A.A. Photosynthesis and productivity of potato in conditions of various spectral radiation. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*. 2013; 1: 107-112. (In Russian)

18. Pardo G.P., Aguilar C.H., Martínez F.R., Canseco M.M. Effects of light emitting diode high intensity on growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and broccoli (*Brassica oleracea* L.) seedlings. *Annual Research & Review in Biology*. 2014; 19: 2983-2994. (In English)

19. Averkheva O.V., Berkovich Yu.A., Erokhin A.N., Zhigalova T.V., Pogosyan S.I., Smolyanina S.O. Features of growth and photosynthesis of plants of *Brassica chinensis* at cultivation with LED lamps use. *Fiziologiya rasteniy*. 2009. V. 56; 1; 17-26. (In Russian)

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

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

УДК 631.243

DOI 10.22314.2073-7599-2016.5.30-35

ТЕХНОЛОГИЯ И ТЕХНИКА ДЛЯ УБОРКИ И ТРАНСПОРТИРОВКИ ЗЕРНА В СЕЛЕКЦИИ И ПЕРВИЧНОМ СЕМЕНОВОДСТВЕ

Евтюшенков Н.Е.*; докт. техн. наук;
Крюков М.Л.;

Шилова Е.П.;
Власова С.В.

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

Выведение новых и возобновление используемых сортов зерновых культур на научной основе невозможно без полевой стадии их отработки на селекционно-опытных делянках. Эффективность и интенсификация селекционно-семеноводческих процессов в значительной степени зависит от оснащения селекционных учреждений средствами технического обеспечения. Создание нового поколения машин должно осуществляться в соответствии с достигнутым техническим уровнем и конструктивными решениями, направленными на ресурсосбережение и наиболее полный учет агробиологических особенностей объектов машинного воздействия, особенно зерновых культур. Показали, что в процессе уборки и транспортировки зерна при выполнении селекционных работ до настоящего времени широко применялась мешочная тара, что усложняло механизацию процесса доставки зерна от комбайна на пункт переработки. Предложили заменить мешочную мягкую тару на жесткую в виде контейнера. Установили, что контейнеры, предназначенные для транспортировки, должны иметь габариты, не превышающие поперечный внутренний габарит транспортных средств или кратно размещаться в этом габарите. Отметим, что габарит контейнера в плане должен быть квадратом со стороной не менее 1120 мм и высотой не менее 565 мм. Контейнеры для сушки зерна должны иметь перфорированное дно, слой зерна – не более 300 мм. Определили, что достоинства контейнеров проявляются в технологических возможностях: транспортировки зерна от комбайна до пункта обработки зерна, сушки зерна в контейнерах, механизированной выгрузки. Применение таких контейнеров позволит в 5 раз снизить затраты труда и средств, вдвое повысить заполнение складов, полностью ликвидировать ручной труд на погрузочно-разгрузочных операциях, сократить простои транспортных средств в 1,5-2 раза.

Ключевые слова: селекция растений, первичное семеноводство, механизация, перевозка и хранение семян и зерна, контейнер. DOI 10.22314.2073-7599-2016.5.30-35

■ **Для цитирования:** Евтюшенков Н.Е., Крюков М.Л., Шилова Е.П., Власова С.В., Технология и техника для уборки и транспортировки зерна в селекции и первичном семеноводстве // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. №5. С. 30-35.

TECHNOLOGY AND EQUIPMENT FOR HARVEST AND TRANSPORTATION OF GRAIN IN SELECTION AND PRIMARY SEED BREEDING

N.E. Evtyushenkov*, Dr. Sci. (Eng.); M.L. Kryukov, E.P. Shilova, S.V. Vlasova

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

Trial plots are necessary for breed new varieties and renewal of the used ones on a scientific basis. Efficiency and an intensification of selection breeding and seed production processes substantially depends on technique of selection establishments. Creation of new generation of machines should be carried out according to the reached technological level and constructive decisions directed on resource-saving and the fullest accounting of agrobiological features of objects of machine influence, especially grain crops. In the course of grain harvest and transportation when selection works the bags complicated mechanization of process of delivery of grain from the harvester to a point of processing was widely applied so far. The authors suggested to substitute soft bags for rigid containers. Dimensions of transportation containers should be not exceeding a cross internal dimension of vehicles or multiply to take place in this dimension. The container dimension in the plan is a square with side not less than 1120 mm and high not less than 565 mm. A bottom of containers for grain drying is holed, a grain layer is no more than 300 mm. Due to containers advantages technological capabilities are possible: transportations of grain from the harvest to the point of grain processing, grain drying in containers, a mechanized unloading. Use of such containers will allow to lower labor and farm costs and by 5 times, to double filling of warehouses,

completely to liquidate manual works at loading and unloading operations, to reduce wasted time by 1.5-2 times.

Keywords: Plant breeding; Primary seed farming; Mechanization; Transportation and storage of seeds and grain; Container. DOI 10.22314.2073-7599-2016.5.30-35

For citation: Evtushenkov N.E., Kryukov M.L., Shilova E.P., Vlasova S.V. Technology and equipment for harvest and transportation of grain in selection and primary seed breeding. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016; 5: 30-35. (In Russian).

На III–IV этапах селекционных работ и предварительного размножения новых сортов на опытных делянках урожай семян убирают прямым комбайнированием с использованием самоходных селекционных комбайнов.

Применение машин, созданных для товарных производителей, неприемлемо. Эта сфера требует специального, дифференцированного подхода в области механизации всего производственного цикла.

Цель исследования – определение оптимальной технологии и техники для затаривания и перевалки зерна при уборке делянок в селекционных питомниках.

Для определения границ действия разрабатываемых средств механизации рассмотрим порядок возрастания объемов семян при селекционных переходах внутри предприятия и при выходе на реализацию для дальнейшего размножения элитных семян [1-7].

Урожай убирают селекционными (КС-1,2; *Hege-125C*, *Classic Wintersteiger*) и селекционно-семеноводческими комбайнами (КСС-1,8; КЗС-1,5; *Delta Wintersteiger*; *Sampo-2010*), оборудованными взвешивающим устройством, позволяющим вести непрерывную уборку зерна одного сорта с делянок одного яруса. Зерно взвешивают сразу после уборки делянки, оно поступает в бункер или в выгрузное устройство. Каждая лаборатория ведет семеноводство по 3 сортам, засеянным ярусами с необходимым числом повторов. Поэтому при уборке образуются партии зерна каждого сорта.

Комбайн с пропускной способностью молотилки 1,5 кг/с на III этапе должен обрабатывать не менее 20 делянок площадью 20 м² за 1 ч чистого рабочего времени.

В эксплуатационных условиях при урожайности 100 ц/га с коэффициентом использования рабочего времени 0,5 производительность комбайна составит 200 кг/ч.

На IV этапе комбайн должен обрабатывать за 1 ч чистого рабочего времени не менее 6 делянок площадью 100 м². В эксплуатационных условиях при урожайности 100 ц/га с коэффициентом использования рабочего времени 0,5 производительность комбайна составит 300 кг/ч.

При уборке сплошных посевов в зависимости от урожайности производительность комбайна со-

ставляет 0,3-0,8 га за 1 ч сменного времени. Зерно поступает в количестве до 3200 кг/ч (с коэффициентом использования рабочего времени 0,6, при урожайности 100 ц/га и пропускной способности молотилки 1,5 кг/с).

Материалы и методы. Уборку начинают лаборатории селекции озимых культур (пшеница и рожь). Агротехнический срок составляет 10-14 дней. Затем наступает очередь лабораторий селекционного и технологического центров. Агротехнические сроки уборки семеноводческих посевов составляют 20-30 дней (10 – озимые и 10 – яровые).

Селекционные работы III этапа выполняют с повторением для сравнительной оценки перспективных сортов и охватывают селекционные питомники 2-го года, контрольные питомники, питомники испытаний потомств 2-го года и питомники предварительного сортоиспытания. На этом этапе получают большое количество образцов массой от 0,4 до 15 кг.

При селекционно-опытных работах IV этапа выполняют конкурсное станционное и государственное сортоиспытание. При этом размеры опытных делянок и количество получаемых семян значительно превышают объемы предыдущих этапов. На этом этапе получают образцы весом до 40 кг.

Питомники предварительного размножения новых сортов по своим размерам и объемам на три порядка превышают питомники для селекционно-опытных работ. Площадь одного питомника составляет от 0,1 до 6,0 га, а вес партий зерна – от 1 до 60 т.

Результаты и обсуждение. В настоящее время наиболее распространенным способом при выполнении уборочно-транспортного процесса в селекционных питомниках является применение мешочной тары. Логистика уборочно-транспортного процесса в питомниках III-IV этапов селекционных работ с применением мешочной тары включает несколько технологических операций в зависимости от назначения питомника.

Уборка делянок на III этапе

1. Питомники размножения гибридных (РГ) популяций образуют до 300 делянок с выходом образцов зерна по 0,5-6,0 кг с делянки, затареного в мешочки, с валовым сбором 1800 кг зерна при размере партий отдельных сортов от 20 до 500 кг.

2. 2-й селекционный питомник имеет выход с де-



лянок 3×1 м до 400 мешочков массой зерна до 4 кг в каждом и валовым сбором до 1600 кг при размере партий сортов от 230 до 400 кг.

3. Контрольный питомник, имеющий 80-90 номеров в 4-кратной последовательности с делянок 6×1 м, выдает до 400 мешочков зерна весом от 3 до 7 кг, всего 1200-2800 кг при размере партий сортов от 170 до 900 кг.

Уборка делянок на IV этапе

Уборку прямым комбайнированием производят комбайнами типа *Sampo*, имеющими компрессоры для воздушной очистки.

1. Конкурсное сортоиспытание осуществляют на делянках 10×1 м в количестве 80-90 номеров в 4-кратной последовательности. На выходе образуется до 250 мешочков массой до 12 кг. Валовый сбор достигает до 3000 кг при массе отдельных партий от 400 до 1000 кг.

2. В питомнике испытания потомств второго года (ПИП-2) высевают около 100 семей на 3-6-рядковых делянках длиной до 50 м. Масса зерна в мешочках составляет 3-7 кг. Валовой сбор (500-600 мешочков) достигает 1500-4200 кг при размерах партий 230-1400 кг.

3. Питомники предварительного размножения первого (иногда второго года) засевают сплошными посевами на полях размером от 0,5 до 5-6 га. Обычно количество сортов соответствует количеству полей. Партии зерна имеют вес от 1 до 12-15 т. Максимальный объем зерна одного сорта варьирует от 15 до 60 т.

На этих этапах ручной труд используется при следующих операциях:

- затаривание мешков, сбрасывание их на поле или складывание в штабель 4×3 на столе комбайна;

- подбор мешков с поверхности поля или перегрузка мешков в транспортное средство (ТС) на расстояние 1,5-3,0 м (переброска мешков при оставке ТС вплотную к комбайну);

- перегрузка мешков с площадки временного хранения на сушилку на расстояние 1,5-3,0 м;

- перегрузка мешков из сушилки (через 3 ч начала работы в поле) в сортировальную машину (СМ) пересыпанием зерна из мешков в ее приемный бункер на расстояние 1-5 м.

- прием зерна из СМ и затаривание его в мешки;

- взвешивание и укладка мешков на поддоны;

- перемещение в хранилище с помощью погрузчика поддонов с мешками готового к хранению зерна.

На этих этапах заготовки семян требуется затаривание и перевалка большого количества образцов различных объемов. В рассматриваемой технологии затаренный мешок сбрасывают с комбайна на поверхность убранного поля по следу ком-

байна для последующего сбора в ТС или укладывают в штабель на рабочем столе комбайна, что требует его остановки для перегрузки мешков в ТС.

Применение мягкой тары усложняет механизацию процесса доставки зерна от комбайна на пункт переработки, поскольку манипулирование предметами неопределенной формы и переменных размеров требует применения интеллектуальных манипуляторов, то есть фактически людей или сложных систем. С другой стороны, у мешочной тары имеется существенное положительное качество, позволяющее осуществлять в них сушку зерна, не производя растраривания на сушилках лотковых СЛ-0,3×2 или платформенных СП-12, а затем и хранение в этих же мешках, сложенных на поддонах в несколько рядов. Но это преимущество превращается в недостаток при необходимости сразу после сушки и перед закладкой на хранение произвести очистку в семяочистительной машине, что требует растраривания семян в бункер очистительной машины и последующей развесовки всего убранного в смену объема зерна с его затариванием.

Устранение недостатков применения мешочной тары возможно заменой мягкой тары на жесткую. Чтобы заменить в транспортно-технологическом процессе мягкую тару на жесткую, потребуется создать контейнеры с возможностью выполнения в них процесса сушки и хранения, чтобы исключить ручной труд, связанный с многократным пересыпанием зерна в технологических переходах от транспорта к сушке, очистке и хранению [8-10]. Следовательно, должна быть разработана соответствующая сушилка для жестких контейнеров, или контейнеры должны быть совместимы с сушилками, находящимися в производстве. Рассмотрим конструктивные особенности жестких контейнеров для уборки делянок, определим форму, оптимальные размеры жестких контейнеров и их количество для перевозки вышеуказанных объемов зерна [11].

Для транспортировки контейнер должен иметь габариты, не превышающие поперечный внутренний габарит транспортных средств 2350 мм иликратно размещаться в этом габарите [12-13].

Габарит контейнера в плане должен быть квадратом со стороной не менее 1120 мм. Внутренние размеры днища контейнера должны быть не менее 1100 мм. Высота до нижней кромки захватов для вилочного погрузчика – не менее 565 мм.

Для выполнения погрузочно-разгрузочных работ контейнер необходимо оборудовать захватами для вилочного погрузчика с кантователем, обеспечивающими опрокидывание контейнера и пересыпку зерна в приемный бункер сортировальной машины. Кроме того, захваты должны быть расположены в верхней части контейнера для установки в кузов транспортного средства без открывания



бортов высотой 530 мм.

Для пересыпания зерна из контейнера он должен быть оборудован воронкой или иными устройствами для направления потока зерна.

Контейнер для сушки зерна имеет перфорированное дно, а слой зерна над ним не должен превышать 300 мм [14].

Нижняя часть контейнера должна иметь простую прямоугольную форму для облегчения уплотнения при стыковке с сушилкой. Сушилку целесообразно изготовить на два контейнера путем модернизации сушилки СЛ-0,3×2.

Контейнеры для хранения должны вмещать удвоенный объем зерна по отношению к сушке. В их конструкции необходимо предусмотреть возможность штабелирования до высоты не менее 5 м (в 9 ярусов). Прямоугольная форма обеспечивает минимальные зазоры между ними. Во избежание повреждений корпусов касание контейнеров должно быть обеспечено по силовым элементам, предназначенным для подъема, перемещения, кантования и стыковки.

Количество контейнеров для размещения партии зерна одного сорта необходимо выбирать с учетом высоты слоя зерна не более 350 мм, что необходимо для сушки. При этом минимальная высота слоя может быть вполне ограничена соображениями здравого смысла. Например, контейнеровоз доставляет на поле два контейнера. Объем партии семян составляет 300 кг. Можно засыпать все зерно в один контейнер или распределить его равномерно между двумя. Выгоднее использовать оба контейнера, поскольку последующая сушка зерна в двух контейнерах будет более равномерной и займет меньше времени [15].

В зависимости от объема поступающего с делянки зерна и конструкции комбайна возможны следующие варианты.

Уборка в питомниках РГ, втором селекционном питомнике, контрольном питомнике, конкурсном сортоиспытании

Зерно поступает в объемах партий от 20 до 500 кг. Если партия семян имеет объем 20 кг, то образцы по 0,4 кг в количестве, например, 5 (повторов) номеров, после скашивания, обмолота, очистки и взвешивания затаривают в мешок.

Всего сортов может быть до 7 (ярусов), поэтому валовой сбор в этом случае составит 140 кг ($20 \times 7 = 140$) или 7 мешочков по 20 кг, которые помещают в жесткий контейнер. Если мешки завязывать свободно, то можно плотно покрыть все дно контейнера и затем в нем сушить затаренное зерно.

Если партия семян составит до 500 кг, то потребуются два контейнера, в которые семена можно будет засыпать непосредственно по 250 кг в каждый, слоем 260 мм.

Для выполнения этих операций на комбайне необходимо предусмотреть возможность установки двух контейнеров так, чтобы выгрузной патрубком находился между ними и позволял загружать любой из них.

Безбункерный комбайн требует непрерывного отбора зерна, поступающего из молотилки через взвешивающее устройство в выгрузные патрубки, рассчитанные на загрузку в мешочную тару [9, 10]. Поэтому при переходе на жесткую тару необходимо внести конструктивные изменения в выгрузное устройство так, чтобы выгрузку можно было вести непрерывно в два контейнера, последовательно перекрывая заслонку между патрубками.

Два контейнера устанавливаются сбоку комбайна на рабочем столе, специально приспособленном для затаривания мешков таким образом, чтобы имела возможность загрузки обоих контейнеров.

Через 1 ч работы и уборки 6 делянок с двумя загруженными контейнерами комбайн выезжает на разгрузочную полосу.

Ожидающее транспортное средство, оборудованное гидроманипулятором, перегружает два заполненных контейнера в кузов, а два порожних устанавливает на рабочий стол комбайна.

На этом объеме урожая в качестве ТС мы рекомендуем применять самоходное шасси типа СШ-28 или ВТЗ-СШЗО, оборудованное гидроманипулятором грузоподъемностью 500 кг на вылете 2 м.

Самоходное шасси доставляет контейнеры на приемный пункт и перегружает их на двухконтейнерную сушилку СК-0,3×2.

При обслуживании комбайна с бункером объемом 1,0-1,5 м³ контейнеры загружают непосредственно на транспортном средстве при всех вышеперечисленных объемах урожая III и IV этапов селекционных работ.

Транспортное средство с контейнерами для забора зерна от бункерного комбайна может быть общего назначения, без грузоподъемных механизмов. На пункте послеуборочной обработки контейнеры устанавливают и снимают с транспортного средства виловым погрузчиком.

Уборка в питомниках предварительного размножения (сплошные посева площадью до 6 га)

При уборке сплошных посевов в питомниках с полями размером не менее 0,5 га при урожайности 70-100 ц/га минимальный валовой сбор с поля составляет 3,5-5 т. Применение безбункерного комбайна на этих работах нецелесообразно, так как требует большого количества мешочной тары по 40 кг (от 80 до 1500 шт.) и тяжелого ручного труда.

На уборке сплошных посевов требуются комбайны с бункерами емкостью 1,0-1,5 м³ и производительностью молотильного барабана 1,5 кг/с.

Для забора зерна из бункера потребуется транс-

портное средство – контейнеровоз, рассчитанный на перевозку зерна в сушильно-транспортных контейнерах суммарным объемом зерна 1,0-1,5 м³.

При этом возможны следующие варианты:

- специальный контейнеровоз для загрузки и перевозки 4-8 сушильно-транспортных контейнеров, используемых при уборке зерна на селекционных делянках, представленных в предыдущем разделе;
- специальный сушильно-транспортный модуль: мультилифт-контейнер, рассчитанный на прием одного бункера селекционного комбайна объемом 1,5 м³ зерна.

В первом варианте контейнеровоз будет представлен тракторным одноосным прицепом типа ППТС-2.5 (Мод. 9504), оборудованным специальным съемным устройством для установки, крепления, загрузки и перевозки в двух уровнях до 8 контейнеров КСТ-300. Техническое задание на проектирование контейнеровоза разработано.

Выводы. Контейнерный способ находит широкое применение при производстве транспортных работ в селекции и первичном семеноводстве.

Достоинства контейнеров:

- возможность транспортировки зерна от ком-

байна до пункта обработки зерна;

- возможность сушки зерна в контейнерах;
- обеспечение герметичности при хранении;
- многоярусная укладка;
- механизированная выгрузка.

При хранении пустые контейнеры занимают малую площадь, а их конструкция обеспечивает многократное использование. Незначительная масса контейнеров допускает их ручную переноску. Контейнерный способ хранения может быть реализован в качестве основной линии, когда все семенное зерно заготавливается в контейнерах, и как дополнительные линии при недостаточной мощности сушильного хозяйства в следующих случаях:

- при временном хранении зерна в контейнерах с последующей сушкой;
- при долговременном хранении семенного зерна перед продажей или посевом.

Применение таких контейнеров позволит в 5 раз сократить затраты труда и средств, вдвое повысить заполнение складов, полностью ликвидировать ручной труд на погрузочно-разгрузочных операциях, сократить простои транспортных средств в 1,5-2 раза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Burrows V.D., Molnar S.J., Tinker N.A., Marder T., Butler G., Lybaert A. Groat yield of naked and covered oat. Canadian journal of plant science. 2001; Vol. 81; 4: 727-729.
2. Hunton P. Alternative feed ingredients a real breakthrough. Poultry International. 1995; Vol. 34; 2: 30-31.
3. Peltonen-Sainio P., Kirkkary A.M., Jauhianen L. Characterising strengths, weakness, opportunities and threats in producing naked oat as a novel crop for northern growing conditions. Agricultural and Food Science. Vol. 13; 1-2; 212-228.
4. Hoekstra G.J., Darbushire S.J., Mother D.T. Zone of articulation in flowers of fatuoid and non-fatuoid oat genotypes. Canadian journal of plant science. 2002; 1: 14.
5. Гурылев Г.В., Гудов Г.Л. Селекция и семеноводство полевых культур. М.: Агропромиздат, 1987. 477 с.
6. 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. науч. докл. Ч. 1. М.: ВИМ, 2012. С. 31-44.
7. Мазитов Н.К., Лабачевский Я.П., Сахапов Р.Л., Шарафиев Л.З., Садриев Ф.М., Салахов А.Ф., Дмитриев С.Ю., Рахимов З.С. Эффективность инновационной технологии производства продукции растениеводства в условиях ВТО – при низкой себестоимости и высокой рентабельности на основе использования отечественной техники] // Система технологий и машин для инновационного развития АПК России: Сб. науч. докл. Междунар. науч.-техн. конф. Ч. 2. М.: ВИМ, 2013. С. 50-54.
8. Анискин В.И., Космовский Ю.А. Машины для селекционной работы в полеводстве. М.: ВИМ, 2001. 202 с.
9. Анискин В.И., Окунь Т.С. Технологические основы оценки работы зерносушильных установок. М.: ВИМ, 2003. 310 с.
10. Гамхошвили Р.М. Обоснование технических и конструктивных параметров и разработка универсальной установки для сушки селекционных семян: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М., 1975. 22 с.
11. Евтюшенков Н.Е., Елизаров В.П. Контейнерная система для заготовки семян зерновых и зернобобовых // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2014. N2. С. 10-13.
12. Евтюшенков Н.Е. Контейнер для перевозки семян // Сельский механизатор. 2014. N3. С. 12-15.
13. Евтюшенков Н.Е., Шилова Е.П., Бисенов Г.С. Структура технологического процесса перевозки сельскохозяйственных грузов // Механизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем: Сб. науч. докл. XII Междунар. науч.-техн. конф. М.: ВИМ, 2012. С. 114-124.
14. Евтюшенков Н.Е., Измайлов А.Ю. Оптимизация сушки семян в контейнерной сушилке // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2014. N3. С. 14-17.



15. Евтюшенков Н.Е., Голубкович А.В. Моделирование процесса сушки в перемешиваемом слое семян // Инновационное развитие АПК России на базе интеллекту-

альных машинных технологий: Сб. науч. докл. науч.-техн. конф. М.: ВИМ, 2014. С. 287-290.

REFERENCES

1. Burrows V.D., Molnar S.J., Tinker N.A., Marder T., Butler G., Lybaert A. Groat yield of naked and covered oat. *Canadian journal of plant science*. 2001; Vol. 81; 4: 727-729. (In English)

2. Hunton P. Alternative feed ingredients a real breakthrough. *Poultry International*. 1995; Vol. 34; 2: 30-31. (In English)

3. Peltonen-Sainio P., Kirkkary A.M., Jauhianen L. Characterising strengths, weakness, opportunities and threats in producing naked oat as a novel crop for northern growing conditions. *Agricultural and Food Science*. Vol. 13; 1-2; 212-228. (In English)

4. Hoekstra G.J., Darbushire S.J., Mother D.T. Zone of articulation in flowers of fatuoid and non-fatuoid oat genotypes. *Canadian journal of plant science*. 2002; 1: 14. (In English)

5. Gurylev G.V., Gudov G.L. Seleksiya i semenovodstvo polevykh kul'tur [Field crops breeding and seed production]. Moscow: Agropromizdat, 1987: 477. (In Russian).

6. 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: Sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. V. 1. Moscow: VIM, 2012: 31-44. (In Russian)

7. Mazitov N.K., Lobachevskiy Ya.P., Sakhapov R.L., Sharafiev L.Z., Sadriev F.M., Salakhov A.F., Dmitriev S.Yu., Rakhimov Z.S. Efficiency of innovative production technology of production of plant industry in conditions of WTO – at low prime cost and high profitability on basis of domestic machinery use. Sistema tekhnologiy i mashin dlya innovatsionnogo razvitiya APK Rossii: Sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. V. 2. Moscow: VIM, 2013: 50-54. (In Russian)

8. Aniskin V.I., Kosmovskiy Yu.A. Mashiny dlya

seleksionnoy raboty v polevodstve [Machines for field plant breeding]. Moscow: VIM, 2001: 202. (In Russian)

9. Aniskin V.I., Okun' T.S. Tekhnologicheskie osnovy otsenki raboty zernosushil'nykh ustanovok [Technological bases of evaluation of grain dryers operation]. Moscow: VIM, 2003: 310. (In Russian)

10. Gamkhoshvili R.M. Obosnovanie tekhnologicheskikh i konstruktivnykh parametrov i razrabotka universal'noy ustanovki dlya sushki seleksionnykh semyan sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Justification of technological and design characteristics and development of universal imachine for drying of selection seeds of crops]: Avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. Moscow, 1975: 22. (In Russian)

11. Evtyushenkov N.E., Elizarov V.P. Container system for procurement of grain and leguminous seeds. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2014; 2: 10-13. (In Russian)

12. Evtyushenkov N.E. Container for seeds transportation. *Sel'skiy mekhanizator*. 2014; 3: 12-15. (In Russian)

13. Evtyushenkov N.E., Shilova E.P., Bisenov G.S. Struktura tekhnologicheskogo protsessa perevozki sel'skokhozyaystvennykh грузов [Structure of technological process of agricultural freights transportation]. *Mekhanizatsiya sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva na baze innovatsionnykh mashinnykh tekhnologiy i avtomatizirovannykh sistem: Sbornik nauchnykh dokladov XII Vtzhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Moscow: VIM, 2012: 114-124. (In Russian)

14. Evtyushenkov N.E., Izmaylov A.Yu. Optimization of seeds drying in container dryer. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2014; 3: 14-17. (In Russian)

15. Evtyushenkov N.E., Golubkovich A.V. Modelirovanie protsessa sushki v peremeshivaemom sloe semyan [Modeling of drying process in mixed layer of seeds. Innovatsionnoe razvitie APK Rossii na baze intellektual'nykh mashinnykh tekhnologiy]: Sbornik nauchnykh dokladov nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Moscow: VIM, 2014: 287-290. (In Russian)

Критерии авторства. Все авторы несут ответственность за представленные в статье сведения и плагиат.
Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution. The authors are responsible for information and plagiarism avoiding.
Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.243

DOI 10.22314.2073-7599-2016.5.36-40

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ПОДСУШКИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Дадыко А.Н.

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

Представили описание свойств растительных отходов (РО) как объекта сжигания в топках зерносушилок. Хотя РО часто характеризуются низкой теплотой сгорания (10-12 МДж на кг), они служат ценным малоазольным биологическим топливом, практически не содержащим сернистых соединений и не загрязняющим окружающую среду при правильной организации процесса сжигания. Рекомендовано проводить сжигание в низкотемпературном циркуляционно-вихревом слое, что позволяет при сравнительно небольших размерах частиц (0,5-3,0 мм) удерживать их в зоне реакции до полного выгорания. Низкотемпературный режим сжигания (600-700 градусов Цельсия) исключает шлакование поверхностей топки, в том числе теплообменных, а также снижает выброс в атмосферу токсичных соединений. Сжиганию частиц РО предшествует подсушка, которая часто по длительности сопоставима со временем сжигания. Рассчитано время подсушки на основе уравнений теплопереноса. При подсушке мелких частиц (менее 0,5-1,0 мм) перенос тепла осуществляется теплопроводностью, при подсушке крупных частиц (более 1,0 мм) – конвективным теплопереносом. Адекватность расчетных формул оценивали по имеющимся экспериментальным результатам сжигания частиц РО. Получили удовлетворительное совпадение (погрешность 12 процентов). Такое же совпадение характерно для расчетной зависимости при эквивалентном коэффициенте теплопроводности, превышающем табличную величину на 25 процентов. При сжигании низкорекреационного твердого топлива калорийностью 15 МДж на кг в топочном блоке, агрегатированном с зерносушилкой, необходима подсветка высокорекреационным жидким или газообразным топливом.

Ключевые слова: растительные отходы, топочные устройства, подсушка, стадии горения, моделирование, подсветка высокорекреационным топливом. DOI 10.22314.2073-7599-2016.5.36-40

■ **Для цитирования:** Дадыко А.Н. Расчет параметров подсушки растительного сырья // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. №5. С. 36-40.

CALCULATION OF PARAMETERS OF VEGETABLE RAW MATERIALS SUBDRYING

A.N. Dadyko

All-Russia Research Institute of Mechanization for Agriculture, 1st Institutskiy proezd, 5, Moscow, 109428, Russian Federation, e-mail: vim@vim.ru

The authors described properties of the vegetable waste (VW) as object of burning in fire chambers of grain dryers. Though VW are often characterized by low combustion heat (10-12 MJ per kg), they could be considered as the valuable low-ash biological fuel which almost not contain sulphur compounds and not pollute environment at the correct organization of burning process. Burning in a low-temperature circulating and vortex layer allows to keep small particles (0.5-3.0 mm) in a reaction zone before full burning out. Low-temperature condition of burning (600-700 degrees Celsius) excludes slagging of surfaces of a fire chamber, including heatexchange ones, and also reduces poison emission in the atmosphere. Precede subdrying of the VW particles and burning period have often the same duration. Duration of subdrying is calculated on the basis of the heatmass transfer equations. Transfer of heat when subdrying of small particles (less than 0.5-1.0 mm) is carried out by heat conductivity, when large particles (more than 1.0 mm) subdrying this process is convective. Adequacy of calculation formulas was estimated by the available experimental results of VW particles burning. Satisfactory coincidence (12 percent measure of inaccuracy) is received. The same coincidence is characteristic for calculated dependence at the equivalent coefficient of heat conductivity which value exceeds a table one by 25 percent. If a fuel is low-reactionary and solid, with a caloric content of 15 MJ per kg so burning of it in the furnace block aggregated with a grain drayer will be better at addition of high-reactionary liquid or gaseous fuel.

Keywords: Furnace devices; Subdrying; Burning stages; High-reactionary fuel addition. DOI 10.22314.2073-7599-2016.5.36-40

■ **For citation:** A.N. Dadyko. Calculation of parameters of vegetable raw materials subdrying. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016; 4: 36-40. (In Russian)



Повышение эффективности обработки сельскохозяйственных продуктов связано с развитием энерго- и экологически эффективных машинных технологий и технических средств [1-2], в том числе с использованием альтернативных источников энергии [3-5].

Цель исследования – обоснование режима сжигания растительных остатков (РО) во взвешенном состоянии в топке зерносушилки.

Материалы и методы. Согласно международной классификации, предложенной Европейской экономической комиссией, существует понятие «низкокалорийные топлива», обозначающее топлива с тепловой сгорания беззольной сухой массы менее 23,8 МДж/кг [6].

Горение топлив с зольностью менее 25% (преимущественно РО) протекает с уменьшением размера частиц и периодическим отделением зольных включений с горячей поверхности.

Теплота сгорания топлив зависит от содержания в них балласта – минеральных веществ (в основном алюмосиликатов, сульфидов и карбонатов) и влаги.

Минеральные примеси снижают теплоту сгорания топлив, увеличивая расход тепла для их нагрева и разложения при сжигании. Нахождение минеральных веществ при высокой температуре в камере сгорания приводит к образованию шлаков и загрязнению поверхностей нагрева топков.

Методы слоевого и пылевидного сжигания как наиболее распространенные для производства энергии из малозольных топлив практически не пригодны для переработки РО, поскольку для стабилизации их горения требуется использование дополнительного топлива. Наиболее массовое вредное поступление в атмосферу при слоевом и пылевидном сжигании высокозольного топлива дает летучая зола с недогоревшими частицами топлива. При этом возникает также опасность загрязнения окружающей среды частицами сажи и полициклическими ароматическими углеводородами.

Рассчитаем параметры подсушки при сжигании РО в слое различного состояния.

Механизмы сжигания РО. Для совершенствования топочных процессов и устройств, работающих на РО, предложено:

- осуществлять процесс при низких скоростях топочных газов и его стабилизации, то есть при образовании циркулирующих потоков горящих частиц;
- сжигать низкорекреационное топливо (<15 МДж/кг) совместно с высокорекреационным;
- поддерживать низкие температуры горения, позволяющие минимизировать эмиссию загрязнения;
- периодически сжигать высокорекреационное то-

пливо при постоянной работе на низкорекреационном топливе.

При использовании подсушки сырья необходимо знать длительность подсушки и скорость ввода частиц в топочную камеру.

Большие возможности для повышения эффективности сжигания частиц РО и снижения поступления в окружающую среду вредных веществ представляют процессы факельно-вихревого горения и низкотемпературного кипящего слоя.

Рассмотрим факельно-вихревое горение. Для топочного процесса должно быть подобрано оптимальное сочетание температуры сжигания, коэффициента избытка воздуха и времени пребывания частиц топлива в зоне реакции, что обеспечивает устойчивость теплового режима горения. В процессе сжигания РО при температурах слоя 850-950°С не происходит плавления минеральной части топлива.

Таким образом, для стабилизации процессов горения РО необходимы следующие условия:

- поддержание температур горящих частиц, исключающих плавление золы;
- удержание частиц в зоне реакции до полного выгорания;
- непрерывная выгрузка золы из зоны реакции.

Наличие в топливе минеральных частиц затрудняет горение, налагает на топочный процесс жесткие условия по максимальной температуре в кислородной зоне слоя, расходу дутья, экологической безопасности.

Организация горения частиц полидисперсного состава, при котором каждая частица должна находиться в квазиравновесии под действием сил тяжести и аэродинамического воздействия движущегося снизу вверх газа (дутья), затрудняется из-за различия плотностей частиц РО.

Это преодолевается удержанием частиц различного размера и постоянной плотности внутри зоны реакции, а также организацией циркуляционно-вихревого движения. Поэтому в создаваемых конструкциях для сжигания РО необходимо предусматривать, кроме вторичного, третичное дутье.

Стадии процесса горения топлива. Длительность сгорания частиц РО τ_c зависит от продолжительности следующих друг за другом стадий: τ_1 – испарения влаги; τ_2 – прогрева частицы от начала до завершения испарения влаги и воспламенения летучих веществ; τ_3 – прогрева коксового остатка от завершения выделения основной массы летучих веществ до начала реагирования коксового остатка с окислителями; τ_4 – выгорания (озоления) коксового остатка.

Продолжительность каждой стадии зависит от вида и размера частиц РО. Выгорание коксового остатка занимает наибольшую долю во времени го-

рения частицы ($\geq 90\%$) и так же, как и время испарения влаги, наиболее трудно поддается расчету.

На этапе испарения влага удаляется преимущественно в виде паров (нагрев до 100°C).

На этапе прогрева частиц топлива до $\sim 350^\circ\text{C}$ развиваются эндотермические процессы деструкции поликонденсированных углеводородов с образованием газообразных продуктов: H_2 , H_2O , CO , CO_2 , CH_4 , H_2S и высших углеводородов. Соотношение газообразных компонентов зависит от вида топлива и интенсивности (скорости) нагрева частиц. Выход летучих веществ завершается, в зависимости от размеров частиц, через 10-20 с при прогреве частиц РО до температуры $\sim 700\text{-}800^\circ\text{C}$.

На этапе выгорания зона реакции постепенно продвигается внутрь частицы, оставляя за собой пористую или плотную оболочку.

Обратимся к этапу испарения влаги.

Подсушка частиц необходима для повышения температуры сжигания. Рассчитаем ее длительность. Рассмотрим физические модели подсушки.

Физическая модель процесса. Тепло передается частице от нагретых газов как конвекцией, так и теплопроводностью. Примем, что мелкие частицы ($d_s < 0,5$ мм, где d_s – эквивалентный диаметр), поступающие в камеру, достаточно быстро достигают скорости восходящего газового потока, что вполне допустимо при их небольших размерах и плотности. Тогда относительная скорость их движения в потоке близка к нулю, и теплота в основном передается теплопроводностью [7-8].

Крупные частицы РО достигают скорости потока за определенное время, и можно принять, что теплота передается конвекцией, а теплопроводностью следует пренебречь.

Процессом механического выталкивания свободной или капиллярной влаги из частицы в ходе термического расширения находящегося в порах или выделяющегося из воды газа пренебрежем.

Также примем, что:

- время испарения влаги определяется скоростью подвода тепла к частице;
- температура слоя в зоне реакции постоянна вследствие автотермичности процесса и дополнительных мер по ее стабилизации;
- температура поверхности частицы за весь период испарения влаги не превысит $\sim 100^\circ\text{C}$.

Математическая модель. Для частицы РО с $d_s < 0,5$ мм тепло, поступающее в частицу, можно записать на основе уравнения теплопроводности:

$$Q = \frac{\lambda(t - \theta_{\text{cp}})F_0 \tau}{h}, \quad (1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности, $\text{Вт/м}\cdot^\circ\text{C}$;

t , θ_{cp} – температура окружающей среды и средняя температура частицы, $^\circ\text{C}$;

F_0 – теплообменная поверхность частицы, м^2 ;

τ – время подсушки, ч;

h – определяющий размер (для плоских частиц $h = h_0/2$, где h_0 – толщина частицы, м; для сферических $h = R$).

На испарение влаги расходуется следующий поток тепла:

$$Q = \Delta U G r \eta, \quad (2)$$

где ΔU – влагосъем, $\text{кг вл./кг сух. мат.}$;

G – масса частицы, кг ;

r – удельная теплота испарения, кДж/кг ;

η – доля теплоты, поступающая на испарение влаги (может быть вычислена в зависимости от влажности частицы и температуры нагрева).

Величину G можно записать в виде $G = G_0(1-U)$, где G_0 – масса сухой частицы, кг ;

U – влагосодержание частицы.

Приравняв правые части (1) и (2) и учитывая, что отношение есть удельная поверхность f частицы, запишем:

$$\tau = \frac{h \Delta U r (1-U) \eta}{\lambda(t - \theta_{\text{cp}}) f}. \quad (3)$$

Тепло передается частице $d_s > 1,0$ мм от раскаленных газов в основном конвекцией, если скорость частицы первоначально не соответствует скорости потока газов, где она находится во взвешенном состоянии. Тогда можно вычислить среднюю скорость частицы, рассчитать коэффициент теплоотдачи и пренебречь при этом теплопроводностью из-за ее малой величины.

Влагосъем можно записать в виде:

$$\Delta U = \frac{\tau_1 \alpha f (t_1 - \theta'_{\text{cp}}) \eta'}{r}, \quad (4)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, $\text{Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C}$;

f – удельная поверхность частицы, $\text{м}^2/\text{кг}$;

$$f \approx \frac{\rho_k R}{3},$$

где ρ_k – кажущаяся плотность частицы;

t_1 , θ'_{cp} – температура агента сушки и средняя температура частицы, $^\circ\text{C}$;

$$\theta'_{\text{cp}} = \frac{\theta_{\text{н}} + \theta_{\text{к}}}{2} \quad (\theta_{\text{н}}, \theta_{\text{к}} - \text{начальная и конечная температура частицы, } ^\circ\text{C});$$

η' – доля теплоты, пошедшая на нагрев частицы,

$$\eta' = \frac{c \Delta \theta}{c \Delta \theta + \Delta U r},$$

где c – теплоемкость частицы, $\text{кДж/кг}\cdot^\circ\text{C}$;

$\Delta \theta$ – приращение температуры, $^\circ\text{C}$.

Длительность подсушки из (4) составит:

$$\tau_1 = \frac{\Delta U r}{\alpha f (t_1 - \theta'_{\text{cp}}) \eta'}. \quad (5)$$



Принимая, что влагосодержание подсушенной частицы $U_k \approx 0$, окончательно получим:

$$\tau_1 = \frac{U_0 r}{\alpha f (t_1 - \theta'_{cp}) \eta'} \quad (6)$$

где U_0 – начальное влагосодержание, кг/кг.

РО (сечка соломы, лузга подсолнечника, измельченные стержни початков и др.) представляют собой ценное биологическое топливо, в изобилии остающееся в хозяйствах в результате послеуборочной обработки основных культур. Их сжигание с получением теплоты препятствует низкой теплотворная способность, как правило $Q_{пн} < (12-15)$ МДж/кг.

Это обусловлено как химическим составом, так и повышенной влажностью. Для устойчивой работы топочного блока, агрегатированного с сушилкой, необходимо дополнительно сжигать высокорекреационное жидкое (газообразное) топливо.

Известно, что при сжигании низкосортных углей ($Q_{пн} = 18,3-19,6$ МДж/кг) температура факела снижается заметнее, чем при сжигании более калорийных углей ($Q_{пн} = 21,5-23,9$ МДж/кг). Уменьшение калорийности топлива (угля) на 2,4 МДж/кг привело к снижению температуры в ядре факела на 65°C , при этом уменьшались степень выгорания топлива (приблизительно на 6%) и стабильность горения. Ухудшаются условия воспламенения, смешения и разгорания факела [9-10].

Результаты и обсуждение. РО имеют низкую теплоту сгорания, и поэтому проблемы, характерные для сжигания низкосортных углей, в полной мере относятся к ним. Это затрудняет использование топочного блока в агрегате с зерносушилкой. Необходима подсветка сжигания РО жидким или газообразным топливом.

Очевидно, что наиболее экономичная подсветка будет в том случае, если недостающая доля теплоты η будет возмещена за счет сжигания высокорекреационного топлива:

$$\eta = \frac{Q_{пн}^{P(1)} - Q_{пн}^{P(2)}}{Q_{пн}^{P(1)}} \quad (7)$$

где $Q_{пн}^{P(1)}$, $Q_{пн}^{P(2)}$ – допустимая низшая теплота сгорания твердого топлива и его фактическая низшая теплота сгорания, кДж/кг.

Расход жидкого топлива G_1 можно записать в виде:

$$G_1 = \frac{Q_{пн}^{P(2)} G_2}{Q_{пн}^{P(3)}} \eta = \frac{Q_{пн}^{P(2)} G_2}{Q_{пн}^{P(2)}} \cdot \frac{Q_{пн}^{P(1)} - Q_{пн}^{P(2)}}{Q_{пн}^{P(1)}} \quad (8)$$

где $Q_{пн}^{P(3)}$ – низшая теплота сгорания высокорекреационного жидкого (газообразного) топлива, кДж/кг;

G_2 – расход твердого топлива, кг.

Как правило, РО, в отличие от угля, имеют повышенное содержание летучих веществ, и их подача в топочную камеру ближе к зоне ввода

высокорекреационного топлива и не является необходимой для устойчивого воспламенения. При этом происходит преждевременный вынос несгоревших частиц из топочной камеры в связи с повышенной скоростью газожидкостного факела у устья. Ввод выше зоны подачи жидкого топлива, где скорость газожидкостного факела снижена, уменьшает унос.

Кроме того, благодаря повышенному содержанию летучих компонентов и вводу твердого топлива выше зоны их подачи возможно снижение допустимой низшей теплоты сгорания с 18 до 15 МДж/кг.

Температуру продуктов сжигания низкокалорийного топлива изменяют вторичным дутьем в пределах $\alpha_t = 1,1-1,3$ (где α_t – избыток дутья), а температуру продуктов сжигания высокорекреационного топлива – в пределах $\alpha_{ж} = 1,05-1,1$. Значения избытков α_t и $\alpha_{ж}$ обеспечивают экономичную работу топочного блока и сушилки, снижая затраты.

Действительно, в хозяйствах, где возделывают подсолнечник на семена, утилизация лузги сопряжена с определенными затратами. Так как теплотворная способность лузги составляет четвертую часть от жидкого топлива, то экономия хозяйства на высокорекреационном топливе как минимум составит $\sim 25\%$.

Несколько меньшая экономия получена при сжигании сечки соломы – приблизительно 15%.

Выводы. РО, образующиеся в хозяйствах, при послеуборочной обработке урожая считаются ценным сырьем для получения тепла при сушке зерна, однако имеют низкую теплотворную способность.

Для организации процесса устойчивого сжигания целесообразно использовать циркуляционно-вихревой режим, при котором обеспечивается удержание и сжигание частиц в реакционной камере топки.

Сжиганию частиц РО должна предшествовать подсушка. На основе математических моделей теплопереноса разработаны алгоритмы для расчета длительности обезвоживания частиц с $d_3 < 0,5$ мм, для которых характерен перенос тепла теплопроводностью, и с $d_3 > 1,0$, которым свойственен конвективный перенос.

Предложенные решения адекватны имеющимся экспериментальным данным по сушке древесных отходов и сжиганию лузги: расчетные выражения (4) и (6) с погрешностью $\pm 18\%$ совпадают при эффективной теплопроводности $\lambda = 0,2$ Вт/м $^\circ\text{C}$ в (1) и постоянной кажущейся плотности частиц $\rho_k \approx 500$ кг/м 3 .

Сжигание низкокалорийных РО с теплотой сгорания $Q_{пн} < 15$ МДж/кг необходимо проводить с подсветкой высокорекреационным (жидким или газообразным) топливом, что обеспечит устойчивую работу топочного блока с зерносушилкой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Сизов О.А. Перспективные пути применения энерго- и экологически эффективных машинных технологий и технических средств // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2013. №4. С. 8-11.
2. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Инновационные механизированные технологии и автоматизированные технические системы для сельского хозяйства // *Модернизация сельскохозяйственного производства на базе инновационных машинных технологий и автоматизированных систем: Сборник докладов XII Международной научно-технической конференции*. Ч. 1. М.: ВИМ, 2012. С. 31-44.
3. Голубкович А.В. Топки на растительных отходах: Монография. М.: ВИМ, 2011.
4. Богданович В.П., Шевченко Н.В. перспективы использования альтернативного топлива в сельском хозяйстве // *Техника в сельском хозяйстве*. 2012. №5. С. 38-40.
5. Курбанов К.К. Обоснование параметров и разработка топки на растительных отходах для зерносушилок сельскохозяйственного назначения: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. М., 2000. 219 с.
6. Беляев А.А. Сжигание высокозольных топлив в топках с кипящим слоем промышленных котлов: М.: МЭИ, 2004. 72 с.
7. Голубкович А.В., Дадько А.Н., Марин Р.А. Моделирование подсушки влажных частиц растительных отходов в топке зерносушилки // *Инновационное развитие АПК России на базе интеллектуальных машинных технологий: Сборник докладов Международной научно-технической конференции*. М.: ВИМ, 2015. С. 258-261.
8. Голубкович А.В., Дадько А.Н. Метод расчета параметров топки на растительных отходах // *Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации Государственной программы развития сельского хозяйства: Сборник докладов Международной научно-технической конференции*. Ч. 1. М.: ВИМ, 2015. С. 353-357.
9. Kenneth J. Hellevang. Grain Drying. North Dakota State University, Fargo, North Dakota, 2013; 24.
10. E. Kocsis, M. Herdovics, J. Deákvári, and L. Fenyvesi. Corn drying experiments by pilot dryer. *Agronomy Research*. 2011. Vol. 9. Biosystem Engineering; Special Issue 1: 91-97.

REFERENCES

1. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Sizov O.A. Perspektivnyye puti primeneniya energo- i ekologicheskikh effektivnykh mashinnykh tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv [Long-term ways of use of energy and environmentally efficient machine technologies and techniques], *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2013; 4: 8-11. (In Russian)
2. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P. Innovatsionnye mekhanizirovannyye tekhnologii i avtomatizirovannyye tekhnicheskiye 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. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Ch. 1. Moscow: VIM, 2012. pp. 31-44. (In Russian)*
3. 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. (In Russian)
4. Bogdanovich V.P., Shevchenko N.V. Perspektivy ispol'zovaniya al'ternativnogo topliva v sel'skom khozyaystve [Prospects of alternative fuel use in agriculture]. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 2012; 5: 38-40. (In Russian)
5. Kurbanov K.K. Obosnovanie parametrov i razrabotka topki na rastitel'nykh otkhodakh dlya zernosushilok sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya [Justification of parameters and engineering of vegetable waste fire chamber for agricultural grain dryers]: Avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk. Moscow, 2000: 219. (In Russian)
6. Belyaev A.A. Szhiganiye vysokozol'nykh topliv v topkakh s kipyashchim sloem promyshlennykh kotlov [Burning of high-ash fuels in fire chambers with boiling layer in industrial boilers]: Moscow: MEI, 2004: 72. (In Russian)
7. Golubkovich A.V., Dadyko A.N., Marin R.A. Modelirovaniye podsushki vlazhnykh chastits rastitel'nykh otkhodov v topke zernosushilki [Modeling of subdrying of humid particles of vegetable waste in fire chamber of grain dryer]. *Innovatsionnoye razvitiye APK Rossii na baze intellektual'nykh mashinnykh tekhnologiy: Sb. dokl. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. Moscow: VIM, 2014: 258-261. (In Russian)*
8. Golubkovich A.V., Dadyko A.N. Metod rascheta parametrov topki na rastitel'nykh otkhodakh [Method of calculation of parameters of vegetable waste fire chamber]. *Intellektual'nyye mashinnyye tekhnologii i tekhnika dlya realizatsii Gosudarstvennoy programmy razvitiya sel'skogo khozyaystva: Sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Ch. 1. Moscow: VIM, 2015: 353-357. (In Russian)*
9. Kenneth J. Hellevang. Grain Drying. North Dakota State University, Fargo, North Dakota, 2013; 24. (In English)
10. E. Kocsis, M. Herdovics, J. Deákvári, and L. Fenyvesi. Corn drying experiments by pilot dryer. *Agronomy Research*. 2011. Vol. 9. Biosystem Engineering; Special Issue 1: 91-97. (In English)

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

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

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

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



УДК 629.114.2.001.2

DOI 10.22314.2073-7599-2016.5.41-43

ИННОВАЦИОННАЯ КОНЦЕПЦИЯ РАЗРАБОТКИ И ПРОИЗВОДСТВА ПЕРСПЕКТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ТРАКТОРОВ ЭКОНОМ-КЛАССА

Мечкало Л.Ф.;

Мечкало А.Л.*, канд. техн. наук

пер. Отрадный, 9, Краснодарский край, г. Новокубанск-3, 352243, Российская Федерация,
*e-mail: mechkalo2009@yandex.ru

Предложена концепция проектирования и производства перспективных моделей тракторов с минимизацией их стоимости путем изменения компоновки и упрощения кабин с одновременным повышением уровня безопасности. Отметили, что моноблочная компоновка тракторов создает повышенные технические трудности при проведении ремонта, при их эксплуатации, сопровождающиеся, как правило, ростом финансовых затрат и снижением эффективности применения. Одной из главных задач, стоящих перед конструкторами, остается обеспечение соответствующих условий труда, снижение вибрационных воздействий, физических нагрузок, что уменьшает утомляемость оператора и повышает производительность труда. Установили, что техническим решением задачи повышения эффективности российского АПК является создание сельскохозяйственного трактора, не только максимально адаптированного к российским условиям, но и имеющего конкурентные преимущества. Предложили концепцию нового трактора с элементами ноу-хау, к основным отличиям которого относятся: смещение двигателя вперед на уровень штатных грузов, жесткая установка дуги или рамки безопасности на раме трактора, внутри которой монтируется перемещающаяся каретка с площадкой управления. При этом подвижная каретка накрывается кабиной, изготовленной из различных материалов, обеспечивающих необходимую шумо-, теплоизоляцию. Возможность достижения указанной цели проиллюстрирована в статье на примере гусеничного трактора.

Ключевые слова: сельскохозяйственный трактор, конструкция трактора, расположение кабины, эффективность. DOI 10.22314.2073-7599-2016.5.41-43

■ **Для цитирования:** Мечкало Л.Ф. Мечкало А.Л. Инновационная концепция разработки и производства перспективных моделей тракторов эконом-класса // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. №5. С. 41-43.

INNOVATIVE CONCEPT OF DESIGN AND PRODUCTION OF PERSPECTIVE MODELS OF TRACTORS OF ECONOMY CLASS

L.F. Mechkalo,

A.L. Mechkalo*, Cand. Sci. (Eng.)

per. Otradnyy, 9, Krasnodar Territory, Novokubansk-3, 352243, Russian Federation,
*e-mail: mechkalo2009@yandex.ru

The authors offered a concept of design and production of tractors perspective models to minimize cost by change of configuration and simplification of cabins for simultaneous safety level increase. Monoblock configuration of tractors presents increased technical difficulties when repair, operation. As a result, financial expenses increase and use efficiency decrease. One of the main tasks facing designers is providing the corresponding working conditions, decrease in vibration influences, physical activities that reduces fatigue of the operator and increases labor productivity. A technical solution of a problem of increase of efficiency of the Russian agrarian and industrial complex is creation of the agricultural tractor which is not only most adapted for the Russian conditions, but also having competitive advantages. The authors offered the concept of a new tractor with know-how elements which main differences are: shift of the engine forward on the level of regular freights, rigid fixing of an arch or safety small frame on a tractor frame. The runner block with a control platform is mounted inside of this frame. Thus the cabin made of various materials providing necessary noise and thermal insulation is mounted onto the runner block. Possibility of achievement of the specified purpose is illustrated in this paper by the example of a caterpillar.

Keywords: Agricultural tractor; Tractor design; Cabin placement; Efficiency. DOI 10.22314.2073-7599-2016.5.41-43

■ **For citation:** Mechkalo L.F., Mechkalo A.L. Innovative concept of design and production of perspective models of tractors of economy class. Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2016; 5: 41-43. (In Russian)

Одной из основных проблем повышения продуктивности сельскохозяйственного производства остается создание практически нового тракторного парка России на основе развития новых направлений в области повышения технического уровня машин [1-4].

Тенденции современного машиностроения показывают, что далеко не всегда рост удельной стоимости 1 кг массы машины сопряжен с ростом эксплуатационных показателей [5-6].

Особенно наглядно это проявляется на сельскохозяйственных тракторах.

Существующие в настоящее время моноблочные агрегаты имеют следующие недостатки:

- недостаточная масса для реализации заложенной мощности двигателя;
- сложность ремонта;
- кабина, вписанная в сверхжатую моноблочную форму трактора (особенно классических моделей), которая буквально «обтекает» его механизмы. «Влитая» в трактор и прочно с ним связанная кабина неизбежно передает все колебания от трактора на оператора, что негативно сказывается на его условиях труда и комфорта.
- для тракторов, движущихся с максимальной рабочей скоростью до 20 км/ч и транспортной до 40-50 км/час, создаются обтекаемые кабины с положительным по отношению к солнцу наклоном стекол, да еще и линзообразных, создающих парниковый эффект в кабине трактора, что приводит к необходимости установки на нем кондиционера [7-9].

Цель исследований – разработка концепции энерго- и экологически перспективного трактора нового поколения.

Материалы и методы – техническим решением повышения эффективности российского АПК станет создание сельскохозяйственного трактора, не только максимально адаптированного к российским условиям, но и имеющего значительные конкурентные преимущества, как экономические, так и функциональные.

Эту проблему, в частности, можно решить вследствие:

- конструктивного и технологического упрощения конструкции трактора;
- снижения себестоимости производства трактора;
- повышения эффективности трактора при его эксплуатации.

Результаты и обсуждение. На рисунке 1а показан серийно выпускаемый трактор ВТ-100, созданный по классической схеме [10].

Классическое расположение кабины 1, двигателя 2 и балластных грузов 3 соответствует устоявшимся тенденциям. Мы предлагаем концепцию нового трактора (рис. 1б). Концептуально по такой же схеме может быть изготовлен и колесный трактор (рис. 1с), а также любые специализированные машины на их базе.

Основные отличительные признаки новых тракторов: двигатель 2 смещен вперед на уровень штатных грузов; за счет собственной массы двигатель создает реактивный момент, обеспечивающий заданную навесоспособность трактора. На раме трактора жестко устанавливается дуга или рамка безопасности 4 – технически элементарно простая и дешевая сварная конструкция из стандартных профилей (трубы, швеллеры). В дугу безопасности перпендикулярно продольной оси трактора вмонтированы направляющие 5, по которым может перемещаться каретка б. На каретке смонтирована через систему амортизации или виброопоры 7 площадка управления, содержащая все органы управления трактором и сидение оператора. Площадка управления накрывается кабиной, защищенной дугой безопасности. Для универсальных сельхозтракторов кабина по направляющим может перемещаться в зависимости от вида выполняемых работ и позиционно занимать оптимальное положение на тракторе (кабина позиционная ПК). Так, на вспашке кабину смещают максимально вправо, на междурядной обработке оператору предпочтительнее сидеть по центру трактора, при выполнении транспортных работ кабину перемещают влево по ходу трактора.

Опционально площадка управления может быть связана с карет-

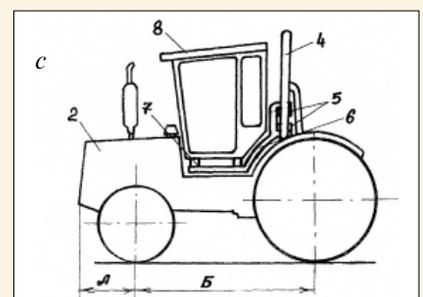
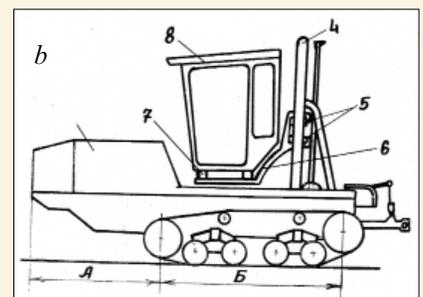
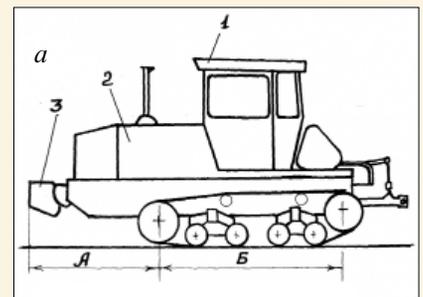


Рис. Конструкция трактора: а – серийного ВТ-100; б – гусеничного, с мобильной кабиной; с – колесного, с мобильной кабиной

Fig. Tractor design: а – production VT-100; б – caterpillar, with mobile cabin; с – wheel-type, with mobile cabin



кой подвижно по 3 степеням свободы, то есть кабина по желанию оператора для удобства может занимать любое положение с наклоном вправо или влево при движении по склону, наклонена вперед – при подъеме, назад – при спуске, а также ее можно повернуть на определенный угол.

Кроме того, площадка управления с кабиной может быть подвешена через систему автоматической курсовой стабилизации положения кабины.

Такой вариант подвески кабины снижает требо-

вания к эластичности ходовой системы и исключает необходимость поддрессирования или амортизации всего трактора, что значительно снижает стоимость трактора.

Выводы. Разработанные концептуальные схемы перспективных тракторов нового поколения с отличительными конструктивными признаками позволяют уменьшить энергоемкость, сложность конструкции, улучшить эргонометрические показатели.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шевцов В.Г., Лавров А.В. Условия восстановления тракторного парка сельскохозяйственного производства как системы с ограниченными ресурсами // Тракторы и сельхозмашины. 2012. N2. С. 3–6.
2. Кряжков В.М., Годжаев З.А., Шевцов В.Г. и др. Проблемы формирования инновационного парка сельскохозяйственных тракторов России // Тракторы и сельхозмашины. 2015. N2. С. 43–46.
3. Измайлов А.Ю., Кряжков В.М., Антышев Н.М., Елизаров В.П., Лобачевский Я.П., Сорокин Н.Т., Гурyleв Г.С., Савельев Г.С., Сизов О.А., Шевцов В.Г. Концепция модернизации сельскохозяйственных тракторов и тракторного парка России на период до 2020 года. СПб.: ВИМ, 2012. 67 с.
4. Кряжков В.М., Годжаев З.А., Шевцов В.Г., Гурyleв Г.С., Лавров А.В., Ошеров А.Н. Проблемы формирования инновационного парка сельскохозяйственных тракторов России // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. N3. С. 9-14.

5. Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland. Münster: Landwirtschaftsverlag GmbH, 2011; 55: 602.
6. Márquez L. Tractores Agrícolas: tecnología y utilización. Madrid: B&H Grupo Editorial, 2012: 844.
7. Дзотсенидзе Т.Д., Козловская М.А., Ильин В.М. О концепции создания пространственных систем каркасно-панельной конструкции семейства тракторов ХТЗ // Тракторы и сельхозмашины. 2012. N1. С. 13-16.
8. Липкович Э.И. Трактор Т-250: жизнь и судьба // Тракторы и сельхозмашины 2012. N8. С. 3–12.
9. Мечкало Л.Ф. Повышение устойчивости сельхозмашиностроения и эффективности машиноиспользования путем модернизации имеющейся техники // Техника в сельском хозяйстве 2007. N6. С. 29-31.
10. Пат. N2458811 РФ. МПК В62D 33/00. Сельскохозяйственный трактор / Мечкало Л.Ф., Мечкало А.Л. // Бюл. 2010. N23.

REFERENCES

1. Shevtsov V.G., Lavrov A.V. Conditions of restoration of tractor fleet of agricultural production as a systems with limited resources. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2012; 2: 3-6 (In Russian)
2. Kryazhkov V.M., Godzhaev Z.A., Shevtsov V.G., et al. Problems of formation of agricultural tractors innovative fleet in Russia. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2015; 2: 43-46. (In Russian)
3. Izmaylov A.Yu., Kryazhkov V.M., Antyshev N.M., Elizarov V.P., Lobachevskiy Ya.P., Sorokin N.T., Gurylev G.S., Savel'ev G.S., Sizov O.A., Shevtsov V.G. Concept of modernization of agricultural tractors and tractor fleet in Russia for the period until 2020. Moscow: VIM, 2012: 67. (In Russian)
4. Kryazhkov V.M., Godzhaev Z.A., Shevtsov V.G., Gurylev G.S., Lavrov A.V., OsheroV A.N. Problems of formation of Russian innovative agrocultural tractors fleet. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2015; 3: 9-14. (In Russian)

5. Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland. Münster: Landwirtschaftsverlag GmbH, 2011; 55: 602. (In German)
6. Márquez L. Tractores Agrícolas: tecnología y utilización. Madrid: B&H Grupo Editorial, 2012: 844. (In Spanish)
7. Dzotsenidze T.D., Kozlovskaya M.A., Il'in V.M. On concept of creating three-dimensional systems of frame-panel constructions for Kharkov tractor plant tractor line. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2012; 1: 13-16. (In Russian)
8. Lipkovich E.I. T-250 tractor: life and destiny. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2012; 8: 3-12. (In Russian)
9. Mechkalo L.F. Increase of stability of agricultural mechanical engineering and efficiency of mashine use by available machinery modernization. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve*. 2007; 6: 29-31. (In Russian)
10. Pat. N2458811 RF. MPK B62D 33/00. Sel'skokhozyaystvennyy traktor [Agricultural tractor]. Mechkalo L.F., Mechkalo A.L. Byul. 2010; 23. (In Russian)

Критерии авторства. Автор несет ответственность за представленные в статье сведения и плагиат.
Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Contribution. The author is responsible for information and plagiarism avoiding.
Conflict of interest. The author declares no conflict of interest.



УДК.627.21.004.3

DOI 10.22314.2073-7599-2016.5.44-47

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЙ КАРТОФЕЛЕКОПАТЕЛЬ

Норчаев Д.Р., канд. техн. наук

Узбекский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства, ул. Самаркандская, 41, пос. Гульбахор-1, Янгиюльский район, Ташкентская область, 110801, Республика Узбекистан, e-mail: davron_1983k@mail.ru

Во всем мире все шире внедряется механизация уборки картофеля с помощью картофелеуборочных машин, которые позволяют снизить затраты труда в 3-5 раз. Из-за почвенно-климатических особенностей (высокие летние температуры, низкая относительная влажность воздуха, уплотнение почвы после поливов) картофелеуборочные машины не нашли широкого применения в Республике Узбекистан. Поэтому урожай картофеля убирают с помощью картофелекопателей КТН-2Б и КСТ-1,4 при участии многочисленных сборщиков для ручного подбора клубней и грузчиков. В условиях Узбекистана при уборке раннего картофеля в летний период влажность почвы пониженная. Поэтому в процессе выкопки почва клубненосного пласта плохо крошится с образованием крупных комков, что затрудняет отделение их от клубней на грохоте и элеваторе. Это приводит к увеличению потери и повреждению клубней картофеля. Серийные подкапывающие рабочие органы существующих картофелекопателей в процессе выкопки забирают в значительном количестве лишнюю почву, и в результате клубненосная масса сгущивается перед лемехом. Это ухудшает процесс уборки и увеличивает тяговое сопротивление. Поэтому требуется проведение научных исследований по разработке более эффективного метода уборки клубней, обеспечивающего требуемое качество работы при меньших энергозатратах и большей производительности. Разработали энерго-сберегающий картофелекопатель, снижающий потери и повреждения клубней картофеля. Он оборудован опорно-комкоразрушающими устройствами, уменьшенными секционными лемехами и валкоукладчиком. Привели результаты энергетических показателей. В ходе испытаний выявили преимущество энерго-сберегающего картофелекопателя по сравнению с серийно выпускаемыми машинами. Результаты испытаний показали, что тяговое сопротивление энерго-сберегающего картофелекопателя и расход горюче-смазочных материалов уменьшились на 15-18 и 11 процентов соответственно, по сравнению с серийным картофелекопателем. При этом скорость движения и тяговая мощность увеличились на 30 и 20 процентов соответственно.

Ключевые слова: картофелеуборочная машина, опорно-комкоразрушающее устройство, степень сепарации, секционные лемеха, тяговое сопротивление, эластичные прутки, валкоукладчик. DOI 10.22314.2073-7599-2016.5.44-47

■ **Для цитирования:** Норчаев Д.Р. Энергосберегающий картофелекопатель // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. №5. С. 44-47.

ENERGY SAVING POTATOES DIGGER

D.R. Norchaev, Cand. Sci. (Eng.)

Uzbek Scientific-research Institute for Mechanization and Electrification of Agriculture, Samarkand St., 41, set, Gul'bakhor-1, Yangiul district, Tashkent region, 110801, Republic of Uzbekistan, e-mail: davron_1983k@mail.ru

Mechanization of harvesting of potatoes takes root more widely everything around the world due to potato-harvesting machines which allow to lower work expenses by 3-5 times. Because of soil and climatic features (high summer temperatures, low relative humidity of air, soil puddling) potato-harvesting machines did not become widely used in the Republic of Uzbekistan. Therefore potato diggers KTN-2B and KST-1.4 are operated at harvesting with the assistance of numerous workers and loaders, that increases stoop labour. In the conditions of Uzbekistan when early potatoes harvesting during the summer period humidity of the soil is lowered. Therefore at digging the soil layer with tubers crumbles badly, with formation of large lumps that complicates separating them from tubers on a sizing screen and an elevator. It leads to increase in loss and damage of tubers. The production digging working tools of the existing potatoes diggers take away the excess soil in a significant amount at digging, and as a result tuber mass build-up in front of a ploughshare. As result the harvestig become difficult and traction resistance increases. Therefore carrying out scientific researches on development of more effective method of tubers harvesting providing the demanded quality of work at smaller energy consumption and



bigger productivity is required. The authors worked out the energy saving digger reducing losses and damages of potatoes tubers. Its outfit consists of basic clods breaking tools, undersized section ploughshares and a swathmaker. Results of power indicators were represented. Advantage of an energy saving potatoes digger in comparison with production machines were revealed during tests. The traction resistance of an energy saving potatoes digger and a consumption of petroleum, oil and lubricants decreased by 15-18 and 11 percent respectively, in comparison with a production digger. Thus the speed of the movement and tractive power increased by 30 and 20 percent respectively.

Keywords: Potato-harvesting machine; Basic clods breaking tool; Separation ratio; Section ploughshares; Traction resistance; Flexible sticks; Swathmaker. DOI 10.22314.2073-7599-2016.5.44-47

For citation: Norchaev D.R. Energy saving potatoes digger. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2016; 5: 44-47. (In Russian)

Картофелеводство – важная составная часть отрасли сельскохозяйственного производства Узбекистана.

Из-за почвенно-климатических особенностей (высокие летние температуры, низкая относительная влажность воздуха, уплотнение почвы после поливов) картофелеуборочные машины не нашли широкого применения. Опыт их использования в Республике Узбекистан показал, что в процессе уборки почва клубненосного пласта крошится и распадается на крупные почвенные комки, имеющие более высокую твердость, чем клубни картофеля, что затрудняет отделение почвы от клубней на грохоте и элеваторе. Ситуация усугубляется на глинистых и тяжелых суглинистых почвах, склонных к образованию глыб при их обработке [1]. Поэтому урожай картофеля убирают с применением картофелекопателя при участии многочисленных сборщиков (для ручного подбора клубней) и грузчиков [2-4].

В Узбекистане при уборке картофеля применяют только картофелекопатели (КТН-2Б, КСТ-1,4), которые в условиях пониженной влажности почвы не удовлетворяют существующие агротребования.

Цель исследований – разработка энергосберегающего картофелекопателя.

Материалы и методы. Проведенные нами изыскания и опыт зарубежных стран, которые производят картофелеуборочные машины, показывают, что в условиях Узбекистана для их качественного функционирования требуется решить несколько специфических технических задач [5-8].

Во-первых, необходимо разрушить почвенные комки картофельной грядки в начале технологического процесса до размеров, меньших, чем минимальные размеры хозяйственно-пригодных клубней, чтобы полностью отделить их от почвы. Для этого разработаны специальные опорно-комкоразрушающие рабочие органы, установленные перед лемехами картофелекопателя [9-11].

Во-вторых, для обеспечения энергосбережения в процессе уборки картофеля нужно было усовершенствовать либо заново разработать подкапывающий лемех, чтобы он имел возможность выкапы-

вать нужную часть картофельной грядки и передавать на элеватор минимальную ее массу [12].

Исходя из вышеизложенного, в Узбекском НИИ механизации и электрификации сельского хозяйства был разработан энергосберегающий картофелекопатель, оснащенный опорно-комкоразрушающими устройствами (для рыхления клубненосного пласта в начале технологического процесса выкопки), уменьшенными секционными лемехами (для снижения массы, передаваемой на элеватор, и тягового сопротивления картофелекопателя), а также валкоукладчиком.

Энергосберегающий картофелекопатель состоит из рамы, опорно-комкоразрушающего устройства, уменьшенных секционных лемехов, основного элеватора и валкоукладчика, включающего каток, эластичные прутки и диски (*рис.*).

При движении агрегата опорно-комкоразрушающие катки обеспечивают заданную глубину выкапывания и разрушают почвенные комки в грядке. Боковые части катка, снабженные дисками, в процессе работы подрезают боковые части грядки, уменьшая поступление лишней почвы на сепарирующие рабочие органы. Далее уменьшенные лемехи выкапывают оставшуюся часть картофельной грядки, в результате чего уменьшается нагрузка рабочих органов. Между дисками установлены эластичные прутки, закрепленные по периметру каждого диска. Длина каждого эластичного прутка больше, чем расстояние между дисками.

В процессе работы диски с эластичными прутками копируют поверхность рядка и при взаимодействии с клубненосным пластом разрушают поверхностные почвенные комки.

Валкоукладчик состоит из двух частей, жестко крепится к раме под углом. Он выполнен в виде решетки, которая покрыта резиной и расположена поперечно относительно элеватора.

Результаты и обсуждение. Испытания энергосберегающего картофелекопателя проводили в сравнении с серийным картофелекопателем КТН-2Б.

Результаты испытаний показали, что тяговое сопротивление энергосберегающего картофелекопателя на 15-18% меньше, по сравнению с серий-

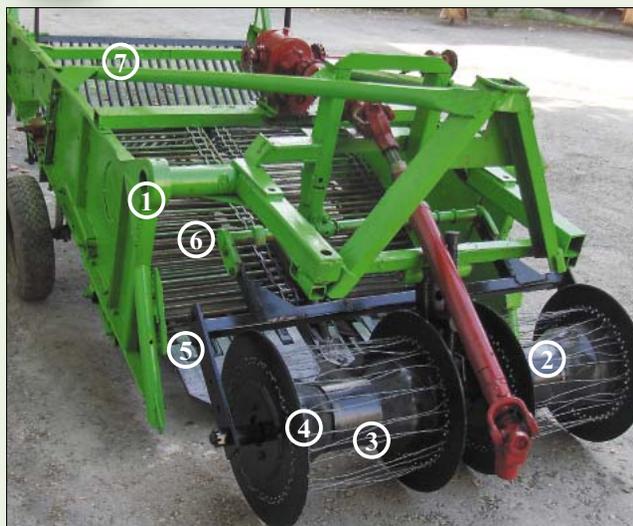


Рис. Общий вид энергосберегающего картофелекопателя
1 – рама; 2 – каток; 3 – эластичные прутки; 4 – диск;
5 – уменьшенные секционные лемеха; 6 – основной элеватор;
7 – валкоукладчик

Fig. General view of an energy saving potatoes digger:
1 – frame; 2 – roller; 3 – flexible sticks; 4 – disk; 5 – undersized
section ploughshares; 6 – main elevator; 7 – swathmaker

ным картофелекопателем (таблица). Это объясняется тем, что боковые диски опорно-комкоразрушающего устройства подрезают откосы картофельной грядки (зона наибольшего сопротивления) и далее уменьшенные лемеха подкапывают эту подрезаемую часть грядки, тем самым снижая сопротивление подрезаемого клубеносного пласта почвы при подъеме его на элеваторы, а также уменьшают объем почвы, поступающей на основной элеватор машины. При проходе вдоль гребня эластичные прутки с катком разрушают поверхностный слой картофельной грядки и почвенные комки, ле-

Table		Таблица				
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ КАРТОФЕЛЕКОПАТЕЛЕЙ POWER INDICATORS OF POTATOES DIGGERS OPERATION						
Показатели Parameters	КТН-2Б серийный КТН-2В production			Энергосберегающий картофелекопатель Energy saving potatoes digger		
Скорость движения, м/с Speed of movement, m/s	0,4	0,8	1,0	0,6	1,0	1,2
Тяговое сопротивление, кН Tractive resistance, kN	4,7	5,1	5,5	3,9	4,4	5,0
Тяговая мощность, кВт Tractive power, kW	1,88	4,08	5,5	2,34	4,4	6,0
Расход ГСМ, кг/га POL consumption, kg/ha	35,2	32,5	25,4	31,6	27,3	22,3

жащие на ней. Это снижает расход ГСМ и повышает производительность агрегата.

Выводы. Картофелекопатель, оборудованный опорно-комкоразрушающими устройствами, уменьшенными селекционными лемехами и валкоукладчиком, имеет преимущество перед серийно выпускаемыми машинами КТН-2Б и КСТ-1,4, которое выражается в снижении потерь и степени повреждений клубней, уменьшении тягового сопротивления на 15-18%, расхода ГСМ – на 11%, по сравнению с серийным картофелекопателем. При этом скорость движения и тяговая мощность увеличились на 30 и 20% соответственно при повышении производительности агрегата.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сорокин А.А., Пономарев А.Г. Метод сепарации клубней картофеля на тяжелых влажных почвах // Тракторы и сельхозмашины. 2007. N2. С. 28-31.
2. Сорокин А.А., Пономарев А.Г. Картофелекопатель стал комбайном // Сельский механизатор. 2004. N5. С. 6-7.
3. Сорокин А.А., Пономарев А.Г. Теория сепарации на элеваторах картофелеуборочных машин по величине липкости почвы // Земледельческая механика в растениеводстве. Механизация почвообработки, внесение удобрений и посева: Сборник докладов Международной научно-практической конференции. М.: ВИМ, 2003. С. 82-88.
4. Колчин Н.Н., Бышов Н.В., Пономарев А.Г. Машинная уборка картофеля: от швырялки до комбайна // Картофель и овощи. 2015. N6. С. 28-33.
5. Рейнгарт Э.С., Сорокин А.А., Пономарев А.Г. Унифицированные картофелеуборочные машины нового поколения // Тракторы и сельхозмашины. 2006. N10. С. 3-5.
6. Struik P.C., Askew M.F., Sonnino A. and all. Forty years of potato research: highlights, achievements and prospects. Potato Research. 1997. Vol. 40; N1: 5-19.
7. Измайлов А.Ю., Колчин Н.Н., Лобачевский Я.П., Кынев Н.Г. Современные технологии и специальная техника для картофелеводства // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. N2. С. 45-48. N3. С. 43-48.
8. Сорокин А.А., Пономарев А.Г. Конструктивные схемы картофелеуборочных комбайнов в аграрном секторе России // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2013. N6. С. 22-26.
9. Байметов Р.И., Норчаев Д.Р. Эффективность применения опорно-комкоразрушающего устройства при уборке картофеля. European Applied Science: modern approaches in scientific researches: 2nd International Scientific Conference. Stuttgart, 2013. С. 171-173.
10. Колчин Н.Н., Елизаров В.П. Снижение уровня по-

вреждений картофеля и овощей в машинных технологиях // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2013. №6. С. 18-21.

11. Пат. № 20000640. Устройство для разрушения и отделения почвенных комков. Норчаев Д.Р. и др. // Бюл.

2001. N3.

12. Норчаев Д.Р. Обоснование параметров энергосберегающего подкапывающего рабочего органа // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. N3. С. 38-42.

REFERENCES

1. Sorokin A.A., Ponomarev A.G. Method of separation of potato tubers, growed in heavy wet soils. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2007; 2: 28-31. (In Russian)

2. Sorokin A.A., Ponomarev A.G. Potatoes digger became combine. *Sel'skiy mekhanizator*. 2004; 5: 6-7. (In Russian)

3. Sorokin A.A., Ponomarev A.G. Theory of separation with use of potato-harvesting machines elevators taking into account rate of soil gumminess. *Zemledel'cheskaya mekhanika v rastenievodstve. Mekhanizatsiya pochvoobrabotki, vnesenie udobreniy i poseva: Sbornik dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Moscow: VIM, 2003: 82-88. (In Russian)

4. Kolchin N.N., Byshov N.V., Ponomarev A.G. Machine harvesting of potatoes: from thrower to combine. *Kartofel' i ovoshchi*. 2015; 6: 28-33. (In Russian)

5. Reyngart E.S., Sorokin A.A., Ponomarev A.G. Unified potato-harvesters of new generation. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2006; 10: 3-5. (In Russian)

6. Struik P.C., Askew M.F., Sonnino A., et al. Forty years of potato research: highlights, achievements and prospects. *Potato Research*: 1997. Vol. 40; 1: 5-19. (In English)

7. Izmaylov A.Yu., Kolchin N.N., Lobachevskiy Ya.P., Kynev N.G. Modern technologies and special equipment for

potato production. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2015; 2: 45-48; 3: 43-48. (In Russian)

8. Sorokin A.A., Ponomarev A.G. Constructive schemes of potato harvesters in agrarian sector of Russia. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2013; 6: 22-26. (In Russian)

9. Baymetov R.I., Norchaev D.R. Effektivnost' primeneniya oporno-komkorazrushayushchego ustroystva pri uborke kartofelya [Efficiency of basic clods breaking tool use at potatoes harvesting]. *European Applied Science: modern approaches in scientific researches: 2nd International Scientific Conference*. Stuttgart, 2013: 171-173. (In Russian)

10. Kolchin N.N., Elizarov V.P. Decrease in potatoes and vegetables damage level at machine technologies. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2013; 6: 18-21. (In Russian)

11. Пат. N 20000640. Ustroystvo dlya razrusheniya i otdeleniya pochvennykh komkov [Device for soil clods crushing and separating]. Norchaev D.R., et al. *Byul*. 2001; 3. (In Russian)

12. Norchaev D.R. Justification of parameters of energy saving digging working element. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2015; 3: 38-42. (In Russian)

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

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

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

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





Сыроватке Владимиру Ивановичу – 85 лет!

22 октября 2016 года исполнилось 85 лет
доктору технических наук, профессору, академику РАН,
заслуженному деятелю науки и техники Российской Федерации

**Сыроватке
Владимиру Ивановичу**

Уважаемый Владимир Иванович!

Коллектив Всероссийского научно-исследовательского института механизации сельского хозяйства сердечно поздравляет Вас с Юбилеем!

Вы, Владимир Иванович, – известный ученый в области механизации и электрификации сельского хозяйства.

Темой Ваших многолетних и плодотворных изысканий стало обоснование ресурсосберегающих технологий и создание инновационной техники для механизации и автоматизации процессов в животноводстве, обеспечивающих рациональное использование кормов и энергии, устранение ручного труда, охрану окружающей среды, рост продуктивности животных.

Под Вашим руководством разработаны новые эффективные машинные технологии приготовления кормов, ряд принципиально новых кормоприготовительных машин, отличающихся высокими эксплуатационными показателями. В настоящее время Вами развивается новое научное направление по производству комбикормов на основе применения высокотемпературного воздействия, баротермической обработки, гранулирования и СВЧ-энергии.

Возглавляемый Вами с 1977 по 1987 гг. Всесоюзный научно-исследовательский институт электрификации сельского хозяйства внес весомый вклад в механизацию и электрификацию сельского хозяйства страны.

За время работы Вами опубликовано более 260 научных публикаций, в том числе 18 монографий. Вы имеете 109 авторских свидетельств и патентов на изобретения, из которых 3 запатентованы за рубежом. Под Вашим научным руководством 35 докторов и кандидатов наук успешно защитили диссертационные работы.

За активное внедрение в сельскохозяйственное производство результатов исследований Вы награждены медалями и почетными грамотами МСХ СССР, ВАСХНИЛ и РАСХН, грамотой Президиума Верховного Совета России, знаками «Отличник социалистического сельского хозяйства» и «Изобретатель СССР», медалями и дипломами ВДНХ.

В этот знаменательный день, разрешите пожелать Вам, Владимир Иванович, крепкого здоровья, благополучия, успехов в дальнейшей творческой деятельности.

От имени коллектива ВИМ,
директор ВИМ, академик РАН

А. Измайлов





НОВЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Статья должна соответствовать основной тематике журнала.

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

Необходимо приложить рецензию на статью.

Статьи аспирантов публикуются бесплатно.

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 следует. Ссылки на обозначения формул обязательны. Статья должна содержать не более 10 формул, 3-4 иллюстрации, 3-4 таблицы, размер таблиц не более 1/2 страницы.

В каждой статье должны быть указаны следующие данные:

- название статьи;
- фамилия и инициалы автора(ов);
- e-mail автора, контактный телефон;
- место работы автора (аббревиатуры не допускаются), почтовый адрес;
- ученая степень, ученое звание автора, должность;
- реферат (объем 200-250 слов);
- ключевые слова;
- библиографический список.

Статью следует структурировать, обязательно указав следующие разделы:

- Введение (актуальность);
- Цель исследований;
- Материалы и методы;
- Результаты и обсуждение;
- Выводы.

Списки литературы (не менее 10 источников) следует оформлять по международным требованиям. Более 50 процентов источников из списка литературы должны быть опубликованы за последние 5 лет, в том числе в журналах, индексируемых в базах данных *Web of Science*, *Scopus*, *Science Index*. Лишь в случае необходимости допустимы ссылки на более ранние труды. **В список литературы НЕ включаются учебные пособия, нормативные и архивные материалы, статистические сборники, газетные заметки без указания автора, авторефераты и диссертации.**

Реферат

Реферат – это самостоятельный законченный материал. В вводной части нужно коротко и емко отразить актуальность и цель исследований, привести полученные результаты (с обязательным аргументированием на основании цифрового материала), сформулировать выводы.

Объем реферата – 200-250 слов.

На английский язык следует перевести:

- название статьи;
- полное название научного учреждения;
- реферат и ключевые слова;
- библиографический список.

Машинный перевод недопустим!

Рукопись статьи должна быть подписана лично авторами. Автор несет юридическую и иную ответственность за содержание статьи.

Несоответствие статьи хотя бы одному из перечисленных условий может служить основанием для отказа в публикации.

ПОДПИСКА 2017

**КАК
подписаться
на журнал?**



ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

Подписку на первое полугодие 2017 г. можно оформить
до 20 декабря включительно
в почтовых отделениях связи
по каталогу агентства «РОСПЕЧАТЬ»
Подписной индекс **35825**

ЖУРНАЛ

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

Редакция журнала:

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

E-mail: smit@vim.ru