

Вестник БарГУ

Ежеквартальный научно-практический журнал

Издаётся с марта 2013 года
Выходит 2 раза в год

№ 1 (9), июнь, 2021

Серия «Технические науки»

Учредитель: учреждение образования
«Барановичский государственный университет».

Адрес редакции:
ул. Войкова, 21, 225404 г. Барановичи.
Телефон: +375 (163) 64 34 77.
E-mail: vestnik@barsu.by .

Подписные индексы: 00993 — для индивидуальных
подписчиков; 009932 — для организаций.
Свидетельство о регистрации средств массовой
информации № 1533 от 30.07.2012, выданное
Министерством информации Республики Беларусь.

В соответствии с приказом Высшей аттестационной
комиссии Республики Беларусь от 21 января 2015 г.
№ 16 научно-практический журнал «Вестник БарГУ»
серия «Технические науки» включён в Перечень
научных изданий Республики Беларусь для опублико-
вания результатов диссертационных исследований
по техническим наукам.

Научно-практический журнал «Вестник БарГУ»
включен в РИНЦ (Российский индекс научного
цитирования), лицензионный договор № 06-01/2016.

Выходит на русском и английском языках.
Распространяется на территории
Республики Беларусь.

Исполняющий обязанности заведующего
редакционно-издательской группой Н. Н. Колодко
Технический редактор Л. Н. Щербук
Компьютерная вёрстка С. М. Глушак
Корректор Н. Н. Колодко

Подписано в печать 31.05.2021. Формат 60 × 84 1/8.
Бумага ксероксная. Печать цифровая.
Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 10,75. Уч.-изд. л. 6,60.
Тираж 100 экз. Заказ . Цена свободная.

Полиграфическое исполнение: Гродненское
областное унитарное полиграфическое предприятие
«Слонимская типография». Свидетельство
о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/203 от 07.03.2014, № 2 от 25.02.2014.
Адрес: ул. Хлюпина, 16, 231800 г. Слоним,
Гродненская обл.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Кочурко В. И. (*гл. ред. журн.*), доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
академик Белорусской инженерной академии, академик Международной
академии технического образования, академик Международной академии наук
педагогического образования, академик Академии экономических наук Украины,
ректор учреждения образования «Барановичский государственный университет»
(Барановичи, Республика Беларусь).

Климук В. В. (*зам. гл. ред. журн.*), кандидат экономических наук, доцент,
проректор по научной работе учреждения образования «Барановичский
государственный университет» (Барановичи, Республика Беларусь).

Алифанов А. В. (*гл. ред. сер.*), лауреат Государственной премии Республики
Беларусь в области науки и техники, доктор технических наук, профессор
(Барановичи, Республика Беларусь); Горбач Ю. Е. (*отв. секретарь сер.*)
(Барановичи, Республика Беларусь).

Леон О. В. (*ред. текстов на англ. яз.*), кандидат филологических наук
(Барановичи, Республика Беларусь).

Богданович И. А. (*отв. за направление «Машиностроение и машиноведение»*),
кандидат технических наук, доцент (Барановичи, Республика Беларусь);
Дубень И. В. (*отв. за направление «Процессы и машины агроинженерных
систем»*), кандидат технических наук (Барановичи, Республика Беларусь).

Анискович Г. И., кандидат технических наук, доцент (Минск, Республика
Беларусь); Белый А. В., член-корреспондент Национальной академии наук
Беларуси, доктор технических наук, профессор (Минск, Республика Бела-
русь); Гавриленя А. К., кандидат технических наук, доцент (Барановичи,
Республика Беларусь); Девойно О. Г., доктор технических наук, профессор
(Минск, Республика Беларусь); Дремук В. А., кандидат технических наук
(Барановичи, Республика Беларусь); Ивашко В. С., доктор технических наук,
профессор (Минск, Республика Беларусь); Калугин Ю. К., кандидат
технических наук, доцент (Гродно, Республика Беларусь); Карташевич А. Н.,
доктор технических наук, профессор (Горки, Республика Беларусь);
Клочков А. В., доктор технических наук, профессор (Горки, Республика
Беларусь); Клубович В. В., доктор технических наук, академик
Национальной академии наук Беларуси, профессор (Минск, Республика
Беларусь); Сиваченко Л. А., доктор технических наук, профессор (Могилев,
Республика Беларусь); Томило В. А., доктор технических наук, профессор
(Минск, Республика Беларусь); Шелег В. К., член-корреспондент
Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук,
профессор (Минск, Республика Беларусь).

BarSU Herald

A quarterly scientific and practical journal

Published since March 2013
It is published 2 times a year

1 (9), March, 2021

Engineering Series

Promoter: educational institution "Baranovichy State University".

Editorial address:
21 Voykova Str., 225404 Baranovichy.
Phone: +375 (163) 45 46 28.
E-mail: vestnik@barsu.by .

Subscription indices: 00993 — for individual subscribers;
009932 — for companies.
The certificate of the registration of mass media № 1533
of 30.07.2012 issued by the Ministry of Information
of Belarus.

In compliance with the order of the Higher Attestation
Commission of the Republic of Belarus from January 21,
2015 № 16 the scientific and practical journal "BarSU
Herald. Engineering Series" is included into the List of
scientific publications of the Republic of Belarus for
publishing the results of theses research on engineering
sciences (mechanical engineering and machines,
processes and machines of agroengineering systems).

Scientific-and-practical journal "BarSU Herald"
is included into RSCI (Russian Science Citation Index),
license agreement № 06-01/2016.

Issued in Russian and English. The journal is distributed
on the territory of the Republic of Belarus.

Interim managing editor N. N. Kolodko
Technical editor L. N. Scherbuk
Desktop Publishing S. M. Glushak
Proofreader N. N. Kolodko

Signed print 31.05.2021. Format 60 × 84 1/8. Paper xerox.
Digital printing. Headset Times. Conv. pr. s. l. 10,75.
Acc.-pub. s. l. 6,60. Circulation of 100 copies.
Order Free price.

Printing performance: Grodno Regional Printing Unitary
Enterprise "Slonim printing establishment". The state
registration certificate of the publisher, manufacturer and
publications distributor № 1/203 of 07.03.2014, № 2
of 25.02.2014. Address: 16 Hlyupin St., 231800 Slonim,
Grodno region.

EDITORIAL BOARD

Kochurko V. I. (*Editor-in-Chief*), Doctor of Agriculture, Professor, Member of the Belarusian Academy of Engineering, Member of the International Academy of Technical Education, Member of the International Academy of Pedagogical Education, Member of the Academy of Economic Sciences of Ukraine, Distinguished educator of the Republic of Belarus (Baranovichy, the Republic of Belarus).

Klimuk V. V. (*Deputy Editor-in-Chief*), Ph. D. in Economic Sciences, Associate Professor, (Baranovichy, the Republic of Belarus).

Alifanov A. V. (*Executive Editor of the Issue*), State-Prize Winner of the Republic of Belarus in Science and Technology, Doctor of Technical Sciences, Professor (Baranovichy, the Republic of Belarus).

Leon O. V., Ph. D in Philological Science (Baranovichy, the Republic of Belarus).

Bogdanovich I. A. (*in charge of the heading "Machine Building and Engineering Science"*), Ph. D of Technical Science, Associate Professor (Baranovichy, the Republic of Belarus); Duben I. V. (*in charge of the heading "Processes and Machines of Agro-engineering Systems"*), Ph. D. in Technical Sciences (Baranovichy, the Republic of Belarus).

Aniskovich G. I., Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Belarusian State Agrarian Technical University (Minsk, the Republic of Belarus); Bely A. V., A. M. of the National Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus); Gavrilena A. K., Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor (Baranovichy, the Republic of Belarus); Devoino O. G., Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus); Dremuk V. A., Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor (Baranovichy, the Republic of Belarus); Ivashko V. S., Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus); Kalugin Y. K., Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor (Grodno, the Republic of Belarus); Kartashevich A. N., Doctor of Technical Sciences, Professor (Gorki, the Republic of Belarus); Klochkov A. V., Doctor of Technical Sciences, Professor (Gorki, the Republic of Belarus); Klubovich V. V., Doctor of Technical Sciences, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, Professor (Minsk, the Republic of Belarus); Sivachenko L. A., Doctor of Technical Sciences, Professor (Mogilev, the Republic of Belarus); Tomilo V. A., Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus); Sheleh V. K., A. M. of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Technical Sciences, Professor (Minsk, the Republic of Belarus).

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

- Дударев В. А., Михальков А. Д., Михальков В. С., Сиваченко Л. А.** Исследование работы вертикальной вибрационной мельницы для измельчения строительных материалов
- Клочков А. В., Емельяненко А. А., Федосов К. С.** Параметры индукции при объемном расположении магнитов
- Милукова А. М., Матяс А. Н., Лях А. А., Горчанин А. И., Толкачева О. А., Хан Цзинь.** Исследование физико-механических свойств титанового сплава после магнитно-импульсной обработки
- Попок Н. Н., Портянко С. А., Тихон Е. М., Анисимов В. С.** Моделирование и регулирование стружкообразования и потоков смазочно-охлаждающей технологической среды при фрезеровании
- Потапов В. А., Сиваченко Л. А., Дремук В. А.** Исследование влияния режимов работы цепного агрегата на показатели процесса измельчения мела в технологии производства извести
- Романчук И. А., Голубев В. С., Веера И. И.** Особенности формирования упрочняющих покрытий при комплексной лазерной и плазменно-порошковой наплавке

ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ

- Бурдейко В. А., Ловкис В. Б.** Расчет щеток машины для сбора колорадского жука
- Зяц П. В., Казакевич П. П.** Результаты экспериментальных исследований машины для сбора колорадского жука
- Пивоварчик А. А., Гавриленя А. К., Заболотный О. Д.** Исследование вязкостно-температурных показателей полусинтетических моторных масел, используемых в бензиновых двигателях механических транспортных средств
- Пивоварчик А. А., Гавриленя А. К., Заболотный О. Д.** Исследование эксплуатационных показателей полусинтетических моторных масел марки SAE 10W40, используемых в бензиновых двигателях

MACHINE BUILDING AND ENGINEERING SCIENCE

- 4 Dudarev V. A., Mikhalkov A. D., Mikhalkov V. S., Sivachenko L. A.** Investigation of the operation of a vertical vibration mill for grinding building materials
- 10 Klochkov A. V., Emelianenko A. A., Fedosov K. S.** Induction parameters by the three-dimensional arrangement of magnets
- 18 Milyukova A. M., Matyas A. N., Liakh A. A., Gorchanin A. I., Tolkacheva O. A., Han Jin.** Improvement of physical and mechanical properties of titanium alloy by magnetic-pulse treatment
- 27 Popok N. N., Partsianka S. A., Tikhon E. M., Anisimov V. S.** Modeling and regulation of chip formation and flows of the lubricating and cooling process medium during milling
- 37 Potapov V. A., Sivachenko L. A., Dremuk V. A.** Research of the influence of the operating modes of the chain unit on the indicators of the process of grinding chalk in the technology of lime production
- 44 Romanchuk I. A., Golubev V. S., Vegera I. I.** Features of forming of consolidating coverages at complex laser and plasma-powder surfacing

PROCESSES AND MACHINES OF AGROENGINEERING SYSTEMS

- 53 Burdejko V. A., Lovkis V. B.** Calculation of the brushes of the colorado beetle harvesting machine
- 59 Zayats P. V., Kazakevich P. P.** Results of experimental studies colorado beetle harvesting machines
- 70 Pivovarchik A. A., Gavrilenia A. K., Zabolotny O. D.** Study of viscosity-temperature indices of semi-synthetic engine oils used in gasoline engines of power-driven vehicles
- 77 Pivovarchik A. A., Gavrilenia A. K., Zabolotny O. D.** Performance study of semi-synthetic SAE 10W40 engine oils used in gasoline engines

УДК 631.348

П. В. Заяц¹, П. П. Казакевич²

¹Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства», ул. Кнорина, 1, 220049 Минск, Республика Беларусь, +375 (29) 634 06 01, p_zayats@tut.by

²Национальная академия наук Беларуси, пр-т Независимости, 66, 220072 Минск, Республика Беларусь, +375 (29) 676 71 04, kazakevich@presidium.bas-net.by

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МАШИНЫ ДЛЯ СБОРА КОЛОРАДСКОГО ЖУКА

В результате исследований были обоснованы параметры и режимы работы упруго-эластичных роторов с регулятором амплитуды колебаний, а также машины для механического сбора колорадского жука при выращивании экологически чистого картофеля.

Предварительными теоретическими исследованиями установлены факторы влияния конструктивно-режимных параметров рабочего органа и состояния ботвы на качественные показатели сбора колорадского жука.

Ключевые слова: машина для сбора колорадского жука; рабочий орган; конструктивно-режимные параметры; упруго-эластичные роторы; амплитуда колебаний; экологически чистый картофель; сбор; стряхивание; лопасть; картофельная ботва.

Рис. 3. Табл. 6. Библиогр.: 14 назв.

P. V. Zayats¹, P. P. Kazakevich²

¹Republican Unitary Enterprise “Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agricultural Mechanization”, 220049, Minsk, 1 Knorina Str., the Republic of Belarus, +375 (29) 634 06 01, p_zayats@tut.by

²The National Academy of Sciences of Belarus, 66 Independence Ave., 220072 Minsk, the Republic of Belarus, +375 (29) 676 71 04, kazakevich@presidium.bas-net.by

RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES COLORADO BEETLE HARVESTING MACHINES

As a result of the studies, the parameters and operation modes of elastic rotors with an oscillation amplitude regulator, as well as machines for mechanical collection of Colorado beetle when growing environmentally friendly potatoes, were substantiated.

Preliminary theoretical studies have established the factors of the influence of structural-mode parameters of the working body and the state of the potato vine on the qualitative indicators of the collection of the Colorado beetle.

Key words: Colorado beetle collecting machine; working body; design-mode parameters; elastic rotors; vibration amplitude; environmentally friendly potatoes; collection; shaking; blade; potato vine.

Fig. 3. Table 6. Ref.: 14 titles.

Введение. Борьба с колорадским жуком — один из решающих факторов достижения высокой урожайности картофеля. Экономическим порогом вредоносности жука в Республике Беларусь, при котором происходит снижение урожайности культуры, является заселение вредителем 10 % и более растений с преобладающей численностью порядка 18...20 особей и более на куст в период массового появления личинок первого—третьего возрастов при дефиците влаги в период цветения или 26...28 личинок на куст в период бутонизации картофеля при достаточном количестве осадков.

При уходе за посадками картофеля для поддержания почвы в рыхлом и чистом от сорняков состоянии проводится рыхление междурядий. Применение комбинированных агрегатов для стряхивания и сбора колорадского жука с ботвы с одновременным рыхлением междурядий позволит сократить число проходов агрегатов по полю, уменьшить уплотнение почвы и снизить затраты [1—3].

Известны различные рабочие органы для стряхивания и сбора с ботвы картофеля колорадского жука. Однако их нельзя считать совершенными, так как остается нерешенным ряд задач, в том числе по обеспечению полноты сбора вредителя с растения [4—7]. Разработка средств механизации, позволяющих качественно и с наименьшими затратами выполнять технологические операции защиты посадок картофеля от колорадского жука, включая экологически безопасные методы, является актуальной.

Разработкой технических средств для машинного сбора насекомых и их уничтожения занимались ученые и изобретатели во многих странах, в том числе и в нашей республике.

Известен ряд таких машин и технических устройств [4; 5; 8—11]. По принципу работы их можно разделить на пневматические, пневмомеханические и щеточно-лопастные, или механические.

Работа пневматических машин основана на обдуве кустов картофеля воздушным потоком, сборе оторванных от ботвы особей жука в накопительные емкости и последующей утилизации собранной популяции. Подобные машины, как правило, состоят из устройства для обдува растений, включающего вентилятор, воздухопроводы, патрубки для сдува насекомых и устройства для их утилизации, состоящего из сборного желоба, экрана, и системы транспортирования насекомых.

Установлено, что при возделывании экологически чистого картофеля для детского питания, потребность в котором в Республике Беларусь составляет порядка 215 тыс. т в год, может применяться механический сбор особей колорадского жука с ботвы. При этом сбор должен выполняться на протяжении личиночной стадии вредителя, которая длится 2...4 недели (в среднем 16 суток), с периодичностью 5...8 дней, т. е. нужны, как правило, 2...3 обработки.

Обзор и анализ литературных источников показал, что перспективным направлением при механическом сборе жука является применение машины с упруго-эластичными роторами, обеспечивающей стряхивание и сбор особей насекомого с картофельной ботвы. Однако параметры и режимы работы рабочих органов такой машины недостаточно изучены и обоснованы.

Целью исследования является обоснование параметров и режимов работы упруго-эластичных роторов с регулятором амплитуды колебаний и машины для механического сбора колорадского жука при выращивании экологически чистого картофеля.

Материалы и методы исследования. При проведении многофакторных исследований ротора с упруго-эластичными лопастями и регулятором амплитуды их колебаний проведена серия опытов в целях выявления влияния конструктивно-режимных параметров рабочего органа и состояния ботвы на качественные показатели сбора колорадского жука. Теоретическими исследованиями установлены влияющие на оценочные параметры факторы: диаметр ротора, количество и ширина лопастей, параметры и взаимное расположение лотка и ротора, положение регулятора амплитуды колебания лопасти по высоте куста и радиусу ротора.

Результаты исследования и их обсуждение. В соответствии с целью исследований определяли влияние взаимодействия факторов (окружной скорости ротора $V_{\text{окр}}$, положения регулятора по радиусу ротора R_p и площади поперечного сечения лопасти $S_{\text{лоп}}$) на остаточное количество особей жука на ботве после прохода машины (функция отклика N , таблица 1).

Т а б л и ц а 1. — Результаты проведения опыта

Номер опыта	Окружная скорость ротора $V_{окр}$, м / с	Положение регулятора по радиусу ротора R_p , см	Площадь поперечного сечения лопасти $S_{лоп}$, мм ²	Остаточное количество особей жука (по повторяемостям опыта и среднее значение)			
				N_1	N_2	N_3	$N_{ср}$
1	4,0	30	1 650	54	60	81	65
2	4,0	10	1 650	30	32	43	35
3	3,0	30	1 650	100	115	115	110
4	3,0	10	1 650	52	62	66	60
5	3,5	20	1 650	12	17	28	19
6	4,0	20	1 900	14	15	37	22
7	4,0	20	1 400	60	68	82	70
8	3,0	20	1 900	70	65	45	60
9	3,0	20	1 400	98	130	132	120
10	3,5	20	1 650	5	23	32	20
11	3,5	30	1 900	51	46	23	40
12	3,5	30	1 400	128	136	96	120
13	3,5	10	1 900	15	21	39	25
14	3,5	10	1 400	69	78	93	80
15	3,5	20	1 650	16	24	23	21

Результаты опытных данных обрабатывались на персональном компьютере с использованием электронных таблиц MS Excel в следующем порядке.

1. Определяли значения верхнего, среднего и нижнего уровней варьирования факторов с учетом их максимальных и минимальных значений в опыте (таблица 2).

2. Находили среднее значение и скорректированную дисперсию опытных значений функции отклика по следующим формулам:

$$Y_{ср} = \frac{1}{N'} \sum_{j=1}^{N'} Y_j, \quad S_Y^2 = \frac{1}{N'-1} \sum_{j=1}^{N'} (Y_j - Y_{ср})^2.$$

3. Проводили кодирование факторов (таблица 3) по формуле

$$x_{ij} = \frac{(X_{ij} - X_0)}{l_i},$$

где x_{ij} — кодированное значение i -го фактора в j -м опыте (строке плана);

X_{ij} — натуральное значение фактора в j -м опыте;

X_0 — натуральное значение основного уровня i -го фактора;

l_i — интервал варьирования i -го фактора.

Т а б л и ц а 2. — Значения уровней варьирования факторов

x_1	Окружная скорость ротора $V_{\text{окр}}$, м / с	x_2	Положение регулятора по радиусу ротора R_p , см	x_3	Площадь поперечного сечения лопасти $S_{\text{лоп}}$, мм ²
1	4,0	1	30	1	1 900
0	3,5	0	20	0	1 650
-1	3,0	-1	10	-1	1 400

Примечание. x_1, x_2, x_3 — корреляционные факторы.

Т а б л и ц а 3. — Значения факторов в кодированном виде

Номер опыта	Значение фактора			Среднее значение функции отклика $Y_{\text{ср}}$	Дисперсия S_y^2
	x_1	x_2	x_3		
1	1	1	0	65	201,0
2	1	-1	0	35	49,0
3	-1	1	0	110	75,0
4	-1	-1	0	60	52,0
5	0	0	0	19	67,0
6	1	0	1	22	169,0
7	1	0	-1	70	124,0
8	-1	0	1	60	175,0
9	-1	0	-1	120	364,0
10	0	0	0	20	189,0
11	0	1	1	40	223,0
12	0	1	-1	120	448,0
13	0	-1	1	25	156,0
14	0	-1	-1	80	147,0
15	0	0	0	21	19,0

4. Оценивали степень корреляции факторов x_i между собой с помощью инструмента «Корреляция» надстройки «Пакет анализа» (таблица 4).

Анализ корреляционной таблицы показывает, что благодаря ортогональности плана опыта взаимная корреляция факторов равна нулю.

Т а б л и ц а 4. — Корреляционная таблица факторов

Фактор	Значение фактора		
x_1	1	0	0
x_2	0	1	0
x_3	0	0	1

5. Проверили однородность дисперсий по критерию Кохрена по строкам плана при числе сравниваемых выборок $m > 2$ [12, с. 134]:

$$G_p = \frac{S_{\max}^2}{\sum S^2} \leq G_{\alpha, m, n'-1},$$

где $G_{\alpha, m, n'-1}$ — табличное значение критерия Кохрена при уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы m и $n - 1$;

n' — объем выборок.

Получили

$$G_p = 448 / 2458 = 0,182 \leq G_{\alpha, m, n'-1} = 0,57.$$

Следовательно, дисперсии однородны.

6. Вычисляли оценки b_0 , b_i и b_{hi} коэффициентов уравнений регрессии:

— линейная модель —

$$Y_p = b_0 + \sum_{j=1}^m b_j x_j;$$

— квадратичная модель —

$$Y_p = b_0 + \sum_{j=1}^m b_j x_j + \sum_{i,k=1}^m b_{ik} x_i x_k + \sum_{i=1}^m b_{ii} x_i^2,$$

где $i, k \leq m$ — номер фактора в регрессионной зависимости.

Расчет коэффициентов регрессии производили по методу наименьших квадратов в матричном виде [13, с. 17]:

$$[B] = ([X_{\text{баз}}]^T [X_{\text{баз}}])^{-1} ([X_{\text{баз}}]^T [Y]),$$

где $[B]$ — вектор искомых оценок коэффициентов регрессии;

$[X_{\text{баз}}]$ — матрица базисных функций;

$[X_{\text{баз}}]^T$ — транспонированная матрица базисных функций;

$[Y]$ — матрица-вектор средних опытных значений показателя $Y_{\text{ср}}$.

Матрицу базисных функций $[X_{\text{баз}}]$ формировали на основе матрицы плана эксперимента, для чего ее дополняли первым столбцом из фиктивных элементов $x_{0i} = 1$, соответ-

ствующих постоянному члену уравнения регрессии b_0 , а также столбцами, составленными из произведений факторов.

7. Определяли остаточную дисперсию соответствующей модели по формуле

$$S_{\text{ост}}^2 = \frac{1}{N' - m'} \sum_{j=1}^{N'} (Y_{\text{сп}j} - Y_{\text{п}j})^2,$$

где m' — число коэффициентов в уравнении регрессии первого порядка, $m' = 4$.

8. Получали расчетное значение критерия F :

– при проверке модели первого порядка по формуле

$$F_0 = \frac{S_Y^2}{S_{\text{ост}1}^2};$$

– при проверке модели второго порядка по формуле

$$F_0 = \frac{S_{\text{ост}1}^2}{S_{\text{ост}2}^2};$$

9. Для линейной модели сравнивали расчетное значение критерия F с табличным $F_{k_1, k_2, \alpha}$ при числе степеней свободы $k_1 = N' - 1$, $k_2 = N' - m'$ и уровне значимости $\alpha = 0,05$ (таблица 5).

Т а б л и ц а 5. — Регрессионный анализ

Показатель	Модель	
	линейная	квадратичная
Число строк плана N	15	15
Число коэффициентов модели m'	4	10
Значения коэффициентов модели:		
b_0	57,80	20,00
b_1	-19,75	-19,75
b_2	16,88	16,88
b_3	-30,38	-30,38
b_{12}	—	-5,00
b_{13}	—	3,00
b_{23}	—	-6,25
b_{11}	—	24,63
b_{22}	—	22,88
b_{33}	—	23,38
Дисперсия воспроизводимости S_B^2	163,87	163,87

Окончание таблицы 5

Показатель	Модель	
	линейная	квадратичная
Остаточная дисперсия $S_{\text{ост}}^2$	613,3	55,93
Расчетное значение критерия F_1	3,743	0,341
Табличное значение критерия Фишера $F_{k_1, k_2, \alpha}$	3,7	5,8
при числе степеней свободы:		
k_1	11	5
k_2	2	2
Вывод	Модель неадекватна	Модель адекватна

Результат сравнения интерпретировался следующим образом:

– если $F_0 \leq F_{k_1, k_2, \alpha}$, то линейная модель не дает большего, чем модель нулевой степени, т. е. управляемые факторы не влияют на математическое ожидание отклика;

– если $F_0 > F_{k_1, k_2, \alpha}$, то значимость коэффициентов линейной модели необходимо подтвердить с помощью модели второго порядка.

10. Для адекватной квадратичной модели проводили проверку значимости коэффициентов полученных уравнений регрессии, для чего рассчитывали доверительный интервал по формуле

$$\Delta b_j = \pm \frac{z S_Y}{\sqrt{N'}}$$

где z — табличное значение критерия Стьюдента при числе степеней свободы $k_1 = N' - m$, при котором определялись значения коэффициентов регрессии соответствующей модели (здесь m — число коэффициентов в соответствующем уравнении регрессии);

S_Y — среднееквадратическое отклонение опытных значений функции отклика, определяемое по формуле $S_Y = \sqrt{S_Y^2}$; N' — число строк плана.

Если абсолютные значения коэффициентов регрессии больше соответствующих значений доверительного интервала ($|b_j| > \Delta b_j$), то они являются значимыми и должны учитываться в модели, в противном случае коэффициент является незначимым и подлежит исключению. Результаты приведены в таблице 6.

Т а б л и ц а 6. — Проверка значимости коэффициентов регрессии

Показатель	Значение коэффициента	Доверительный интервал	Вывод
b_0	20,00	7,3907	Значим
b_1	-19,75	4,5259	Значим
b_2	16,88	4,5259	Значим
b_3	-30,38	4,5259	Значим

Окончание таблицы 6

Показатель	Значение коэффициента	Доверительный интервал	Вывод
b_{12}	-5,00	6,4005	Незначим
b_{13}	3,00	6,4005	Незначим
b_{23}	-6,25	6,4005	Незначим
b_{11}	24,63	6,6619	Значим
b_{22}	22,88	6,6619	Значим
b_{33}	23,38	6,6619	Значим

11. Так как незначимые коэффициенты регрессии не влияют на значение функции отклика, то они могут быть исключены из модели. Поскольку был принят ортогональный план опыта, то пересчет коэффициентов регрессии не требуется.

В результате получено следующее уравнение регрессии в кодированном виде:

$$Y_p = 20,00 - 19,75x_1 + 16,88x_2 - 30,38x_3 + 24,63x_1^2 + 22,88x_2^2 + 23,88x_3^2. \quad (1)$$

12. При раскодировании уравнения (1) получена зависимость функции отклика от параметров $V_{\text{окр}}$, R_p и $S_{\text{лоп}}$:

$$N = 2641,3 - 739,0V_{\text{окр}} - 7,46R_p - 1,356S_{\text{лоп}} + 98,50V_{\text{окр}}^2 + 0,2288R_p^2 + 3,7 \cdot 10^{-4} S_{\text{лоп}}^2.$$

13. Коэффициент детерминации модели, характеризующий степень влияния регрессии на общую дисперсию опытных значений Y , определяли по следующей формуле [14]:

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{pi} - \bar{Y})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_{cpi} - Y_{pi})^2 + \sum_{i=1}^n (Y_{pi} - \bar{Y})^2}.$$

Расчетом установлено, что $r^2 = 0,973$. Это говорит о высоком влиянии регрессии.

14. Относительную среднеквадратическую ошибку уравнения регрессии, близость которой к нулю является необходимым условием адекватности модели, определяли выражением

$$\delta_{\text{ср}} = \frac{\sqrt{S_{\text{ост}}^2}}{\bar{Y}} 100 \%.$$

По расчету $\delta_{\text{ср}} = 13,7 \%$.

15. Проводили анализ полученных уравнений регрессии.

Установлены оптимальные значения параметров, обеспечивающие минимум целевой функции $N = 3,1$ (рисунки 1—3):

- окружная скорость ротора $V_{\text{окр}} = 3,7$ м / с;
- положение регулятора по радиусу ротора $R_p = 16$ см;
- площадь поперечного сечения лопасти $S_{\text{лоп}} = 1\,800$ мм².

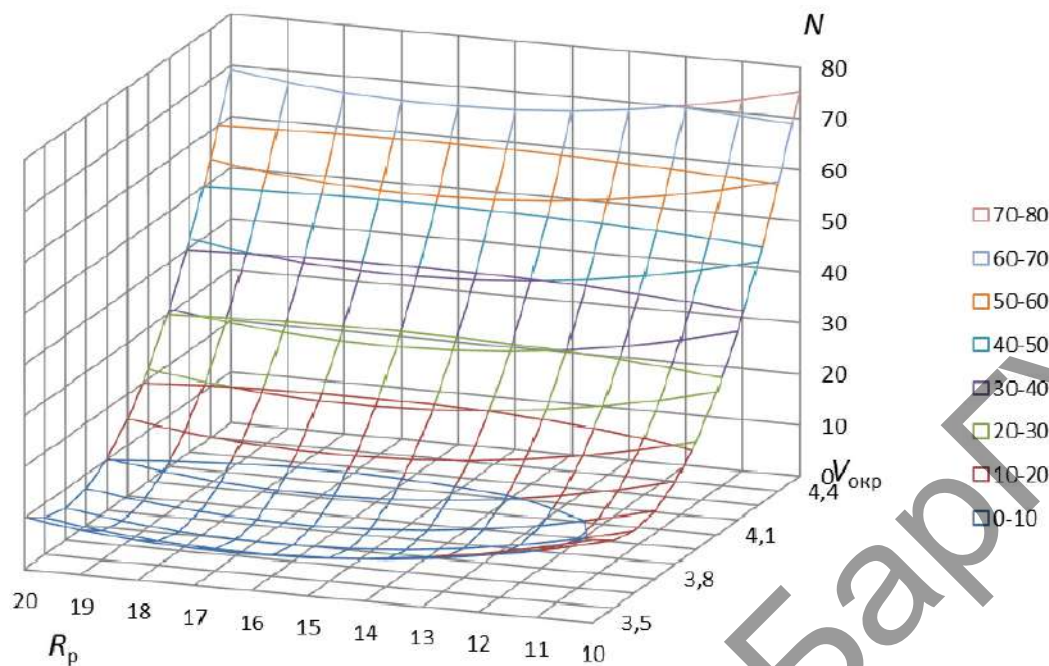


Рисунок 1. — Зависимость остаточного количества особей жука N от положения регулятора на радиусе ротора R_p и окружной скорости ротора $V_{окр}$ при площади поперечного сечения $S_{лоп} = 1\ 800\ \text{мм}^2$

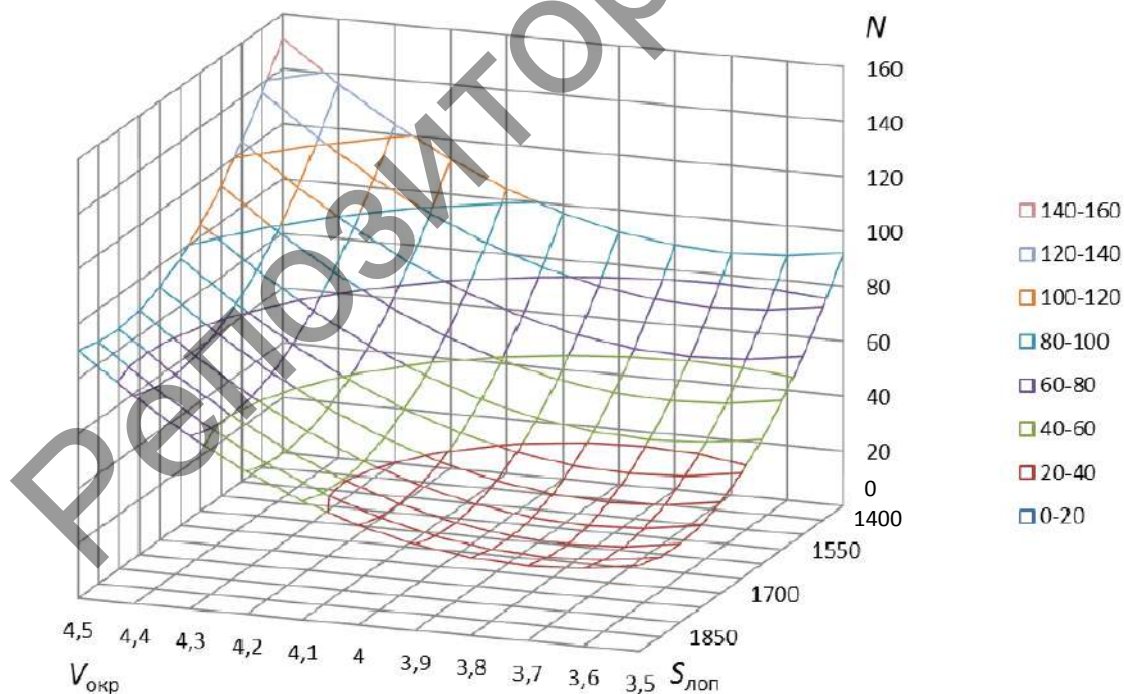


Рисунок 2. — Зависимость остаточного количества особей жука N от окружной скорости ротора $V_{окр}$ и площади поперечного сечения лопасти $S_{лоп}$ при положении регулятора на радиусе ротора $R_p = 16\ \text{см}$

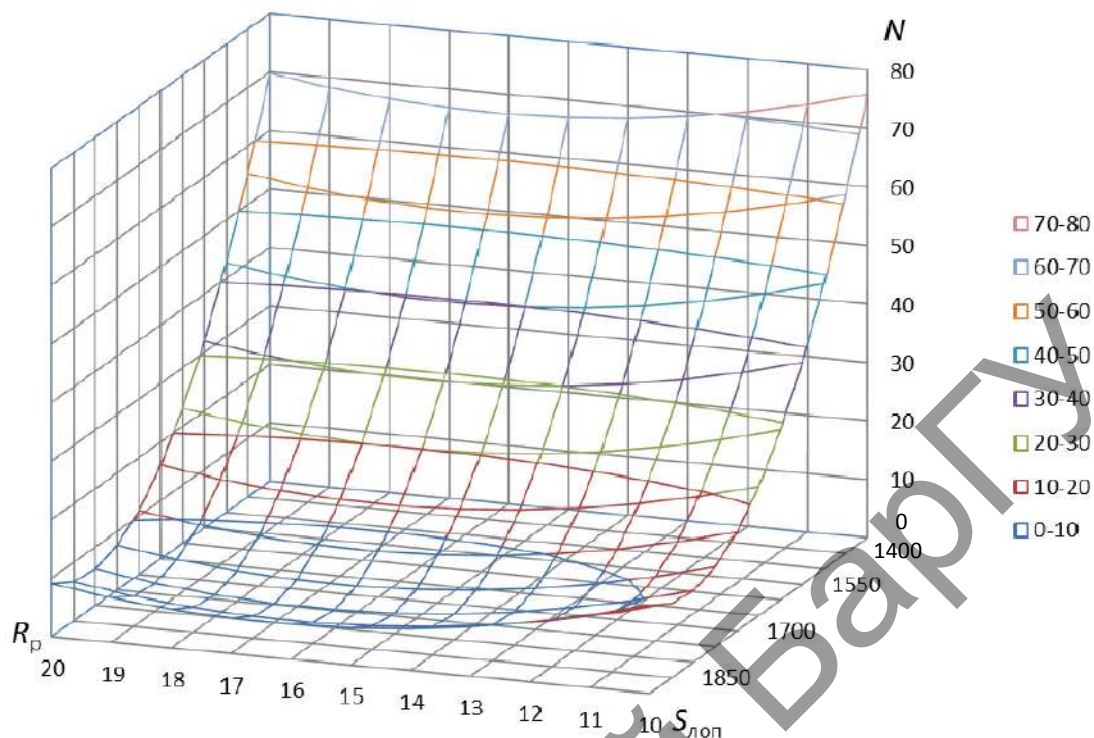


Рисунок 3. — Зависимость остаточного количества особей N жука от положения регулятора на радиусе ротора R_p и площади поперечного сечения лопасти $S_{\text{лоп}}$ при окружной скорости ротора $V_{\text{окр}} = 3,7 \text{ м / с}$

Заключение. Экспериментальными исследованиями и математической обработкой их результатов установлено, что теоретические расчёты согласуются с экспериментальными данными.

Определены физико-механические свойства особей колорадского жука и ботвы картофеля, позволившие обосновать выбор коэффициента пропорциональности концентрации особей вредителей по ярусам ботвы и уточнить вместимость накопительной ёмкости, запас рабочего хода агрегата и параметры пневматической системы

Исследованием зависимости точки приложения стряхивающего усилия по высоте ботвы картофеля в зависимости от силы ее упругости установлено, что в целях снижения энергоёмкости процесса целесообразно взаимодействие ротора с ботвой в ее верхушечной части, где имеет место максимальная концентрация особей колорадского жука.

Минимальное остаточное количество особей колорадского жука на ботве и отсутствие видимого ее повреждения достигаются при диаметре капроновых нитей лопасти $1,2 \dots 1,5 \text{ мм}$.

Установлены экспериментальные зависимости силы упругости лопастей и остаточного количества особей жука от положения регуляторов амплитуды колебаний лопастей, которые позволили определить, что рациональное по условию энергоёмкости положение регулятора от оси ротора составляет $R_p = 0,14 \dots 0,18 \text{ м}$.

Определена экспериментальная зависимость остаточного количества особей колорадского жука от окружной скорости ротора. При условии минимальной энергоёмкости процесса и без видимого повреждения листьев ботвы диапазон окружной скорости ротора должен составлять $V_{\text{окр}} = 3 \dots 4 \text{ м / с}$.

Получено уравнение регрессии второй степени, устанавливающее связь остаточного количества особей жука на ботве картофеля после прохода машины с параметрами и режимами работы рабочего органа: окружной скоростью ротора $V_{\text{окр}}$, положением регулятора на радиусе ротора R_p и сечением лопасти $S_{\text{лоп}}$.

Решением уравнения установлены оптимальные значения $V_{\text{окр}} = 3,7$ м / с, $R_p = 0,16$ м, $S_{\text{лоп}} = 1\,800$ мм².

Список цитируемых источников

1. Сонкина, Е. В. Мероприятия по ограничению вредоносности колорадского жука в посадках картофеля : аналит. обзор / Е. В. Сонкина, С. Л. Быховец // Беларус. науч. ин-т внедрения новых форм хозяйствования в АПК. — Минск, 2003. — 36 с.
2. Настольная книга картофелевода / В. Г. Иванюк [и др.] ; под ред. С. А. Турко // РУП «Науч.-практ. центр НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству». — Минск : Рэйплац, 2007. — 191 с.
3. Szolc, S. Ziemiak doceniony / S. Szolc // Farmer. — 2006. — № 22. — S. 40—42.
4. Кисняшкин, М. Ф. Обоснование параметров рабочих органов машины для борьбы с колорадским жуком : автореф. ... дис. канд. техн. наук : 052001 / 052003 / М. Ф. Кисняшкин // Морд. гос. ун-т им. Н. П. Огарева. — Саранск, 1996. — 23 с.
5. Устройство для сбора колорадских жуков и их личинок : пат. 3716 Респ. Беларусь : МКП А 01М 5/04 / Э. В. Заяц, С. Н. Ладутько, С. А. Дубатовка, И. И. Верстак ; заявитель Гродн. гос. с.-х. ин-т. — № 970148 ; заявл. 03.19.1997 ; дата публ.: 30.12.2000.
6. Заяц, Э. В. Результаты исследований рабочих органов для сбора колорадских жуков и их личинок / Э. В. Заяц, С. А. Дубатовка // Наука — производству : материалы 4-й Междунар. науч.-практ. конф. / Гродн. гос. с.-х. ин-т. — Гродно, 2001. — Ч. 2. — С. 49—52.
7. Заяц, Э. В. К вопросу исследования активного рабочего органа для сбора колорадского жука / Э. В. Заяц, С. А. Дубатовка // Уч. зап. Гродн. гос. с.-х. ин-та. — Гродно, 1996. — Вып. VI. — С. 110.
8. Гуцол, Т. Д. Обоснование параметров и режимов работы устройства для сбора насекомых вредителей пропашных сельскохозяйственных культур : автореф. ... дис. канд. техн. наук : 05.20.01 / Т. Д. Гуцол // Подол. гос. аграр.-техн. ун-т. — Каменец-Подольский, 2006. — 24 с.
9. Устройство для сбора насекомых с растений : а. с. 1503724 СССР : МКУА01М5/08 / И. Ф. Гончаров [и др.] ; Укр. науч.-исслед. ин-т орошаемого земледелия. — № 4239810/30-15 ; заявл. 04.05.1987 ; дата публ.: 30.08.1990.
10. Устройство для сбора и уничтожения колорадского жука : а. с. 1423078 СССР : МКУ А01М 5/04 / С. К. Дерябин [и др.] ; Морд. гос. ун-т им. Н. П. Огарева. — № 3988488/30-15 ; заявл. 04.11.1985 ; дата публ.: 15.09.1988.
11. Машина для сбора колорадского жука [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <http://www.Bio-Landtechnik.de>. — Дата доступа : 04.12.2006.
12. Красовский, Г. И. Планирование эксперимента / Г. И. Красовский, Г. Ф. Филаретов. — Минск : Изд-во БГУ, 1982. — 302 с.
13. Подьяконов, М. М. Методика рационального планирования эксперимента / М. М. Подьяконов, Р. И. Тедерер. — М. : Наука, 1978. — 78 с.
14. Маслов, Г. Г. Моделирование в агроинженерии методами планирования эксперимента / Г. Г. Маслов, Е. И. Трубилин, В. В. Цыбулевский. — Краснодар, 2010. — 304 с. : ил.

Поступила в редакцию 02.04.2021.