

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-567933>

Оригинальное исследование



Анализ результатов полевых исследований пружинно-волнового катка

В.Е. Прошкин, В.И. Курдюмов, Е.Н. Прошкин, В.В. Курушин, Р.В. Богатский

Ульяновский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина, Ульяновск, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Поверхностная обработка почвы очень важна в сельском хозяйстве, поскольку, благодаря ей, повышается количество и качество урожая. Одним из видов поверхностной обработки почвы является прикатывание. Его осуществляют для улучшения контакта семян с почвой, а также для создания оптимальной пористости почвы, при которой поры содержат необходимое количество воды и воздуха для хорошего развития растения.

Целью работы — повышение качества поверхностной обработки почвы на основе разработки высокоэффективного пружинно-волнового катка, обеспечивающего выполнение агротребований, снижение эксплуатационных затрат и повышение урожайности сельскохозяйственных культур.

Материалы и методы. Предложена новая конструкция пружинно-волнового катка, способного обеспечить прикатывание почвы с соблюдением агротехнических требований.

Результаты. В результате выполненных полевых исследований пружинно-волнового катка получено уравнение регрессии описывающее влияние всех независимых факторов процесса прикатывания на критерий оптимизации $k_{пв}$. Выполнена оценка адекватности математической модели по критерию Фишера, расчётное значение которого F_p составило 1,001 при табличном значении $F_T = 2,46$, что свидетельствует о её адекватности. Выполненный анализ отклонений результатов эксперимента от результатов, рассчитанных по полученному уравнению, показал, что во всех точки плана эксперимента полученные данные укладываются в доверительный интервал, что свидетельствует о высоком качестве проведения опытов.

Заключение. Максимальное значение коэффициента приближения к эталону $k_{пв}$ при использовании пружинно-волнового катка составляет 0,81 при скорости движения $v = 11$ км/ч, суммарном усилии, создаваемом пружинами сжатия $C = 1750$ Н и массе балласта $m = 70$ кг. Максимальное значение $k_{пв}$, достигаемое при работе серийно выпускаемого катка ККЗ-6 составляет 0,57, что на 42,1% значительно лучше, чем у предлагаемого пружинно-волнового катка.

Ключевые слова: прикатывание; плотность; почва; волновой рельеф; структурный состав; каток; исследования; результаты.

Как цитировать:

Прошкин В.Е., Курдюмов В.И., Прошкин Е.Н., Курушин В.В., Богатский Р.В. Анализ результатов полевых исследований пружинно-волнового катка // Тракторы и сельхозмашины. 2023. Т. 90, № 5. С. 405–412. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-567933>

Рукопись получена: 21.07.2023

Рукопись одобрена: 15.09.2023

Опубликована онлайн: 17.10.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-567933>

Original Study Article

Analysis of the results of field testing of the spring-wave roller

Vyacheslav E. Proshkin, Vladimir I. Kurdyumov, Evgeny N. Proshkin, Viktor V. Kurushin, Roman V. Bogatsky

Ulyanovsk State Agrarian University, Ulyanovsk, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Surface tillage is very important in agriculture, because it helps to increase the quantity and quality of the yield. One of the types of surface tillage is packing. It is carried out in order to improve the contact of seeds with the soil, as well as to create optimal soil porosity, in which the pores contain the necessary amount of water and air for good plant development.

AIMS: Improvement the quality of surface tillage based on the development of a highly efficient spring-wave roller, which ensures meeting the agricultural requirements, reducing operating costs and increasing crop yields.

METHODS: The new design of the spring-wave roller capable of packing the soil in compliance with the agrotechnical requirements has been proposed.

RESULTS: As a result of the conducted field studies of the spring-wave roller, a regression equation describing the influence of all independent factors of the packing process on the optimization criterion KPI was obtained. The adequacy of the mathematical model was evaluated according to the Fisher criterion, the calculated value of which was 1.001 with a tabular value of $F_t = 2.46$, which indicates its adequacy. The analysis of the deviations of the experimental results from the results obtained by calculating the resulting equation showed that at all points of the experimental plan, the data obtained fit into the confidence interval, which indicates the high quality of the experiments.

CONCLUSIONS: The maximum value of the coefficient of approximation to the KPI standard when using the spring-wave roller is 0.81 at the motion velocity $v = 11$ km/h, the total force generated by compression springs $C = 1750$ N and the weight of the ballast $m = 70$ kg. The maximum KPI value achieved during operation of the commercially produced KKZ-6 roller is 0.57, which is 42.1% better than the proposed spring-wave roller has.

Keywords: packing; density; soil; wave relief; structural composition; roller; research; results.

To cite this article:

Proshkin VE, Kurdyumov VI, Proshkin EN, Kurushin VV, Bogatsky RV. Analysis of the results of field testing of the spring-wave roller. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2023;90(5):405–412. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-567933>

Received: 21.07.2023

Accepted: 15.09.2023

Published online: 17.10.2023

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время сельскохозяйственные предприятия стремятся выбирать системы обработки почвы с минимальным набором операций с целью сокращения затрат. В связи с этим, зачастую, недостаточное внимание уделяется прикатыванию почвы, которое хотя и является энергетически малозатратной операцией, но оказывает колоссальный эффект на развитие семян корневой системы растений. При этом основными обеспечиваемыми при прикатывании факторами, влияющими на урожайность, являются обеспечиваемые плотность и структурность почвы [1–5].

Необходимо отметить, что многие современные катки не позволяют обеспечить качественную обработку почвы с позиции соответствия плотности и структурного состава почвы агротехническим требованиям, что снижает урожайность сельскохозяйственных культур. Это можно объяснить, как нестандартными условиями их применения, так и неприспособленностью конструкций под различные физико-механические свойства почвы, порой изменяющиеся даже в пределах одного поля. Современные конструкции катков имеют высокую металлоёмкость, сложны в обслуживании и ремонте, что приводит к повышению стоимости их эксплуатации и большим затратам на техническое обслуживание и ремонт [6–9].

Целью работы является повышение качества поверхностной обработки почвы на основе разработки высокоэффективного пружинно-волнового катка, обеспечивающего выполнение агротребований, снижение эксплуатационных затрат и повышение урожайности сельскохозяйственных культур.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для выполнения основных агротехнических требований авторским коллективом разработан принципиально

новый пружинно-волновой каток (рис. 1), главной конструктивной особенностью которого является наличие подпружиненных уплотняющих элементов, установленных параллельно образующей катка. Благодаря суммарному усилию, создаваемого несколькими пружинами, установленными на одном уплотнителе, в зоне контакта уплотнителя с почвой создаётся переменная по величине плавно увеличивающаяся сила, за счет которой поверхность почвы уплотняется до требуемого агротехнического интервала с формированием на ней волнового рельефа. Применение волнового рельефа перспективно в зонах рискованного земледелия на озимых и яровых культурах, поскольку сформированные на поверхности почвы волны обеспечивают более качественный прогрев почвы, а также накопление во впадинах влаги, что спасает растения от гибели, а также способствует ускоренному росту и развитию семян.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При полевых исследованиях пружинно-волнового катка для совместной оценки влияния независимых факторов процесса на качество прикатывания почвы использовали коэффициент приближения к эталону $k_{пэ}$ [10]. Для этого в экспериментальных исследованиях при различных сочетаниях независимых факторов (табл. 1) определяли такие характеристики почвы, как плотность и ее структурный состав [11].

Для того, чтобы обосновать влияние исследуемых независимых факторов на принятый критерий оптимизации $k_{пэ}$, необходимо получить соответствующую математическую модель, которая наглядно может показать их влияние на формируемую при прикатывании плотность почвы и её агрегатный состав. Для этого была использована программа STATISTICA 10, в частности, её функция «нелинейное оценивание» (рис. 2).

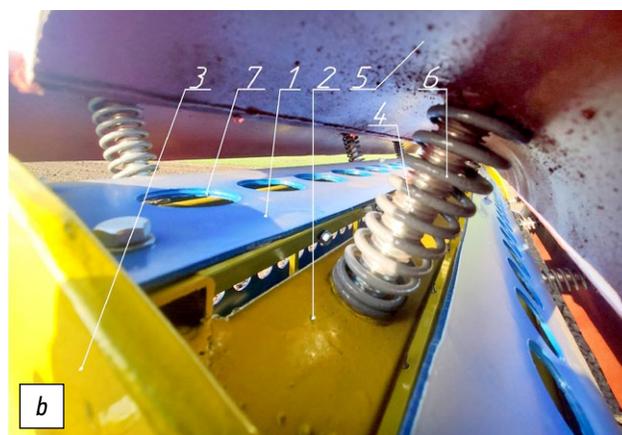


Рис. 1. Пружинно-волновой каток: 1 — пластины образующей цилиндра; 2 — ребра; 3 — вертикальные диски; 4 — шпильки; 5 — уплотнители; 6 — пружины; 7 — отверстия.

Fig. 1. The spring-wave roller: 1 — sheets of a cylinder generatrix; 2 — edges; 3 — vertical disks; 4 — double-end bolts; 5 — sealers; 6 — springs; 7 — holes.

Таблица 1. Варьирование конструктивно-режимных параметров процесса прикатывания почвы в натуральных и кодированных значениях

Table 1. Ranges of design and mode parameters of soil packing in natural and encoded values

Параметры	Значения параметров:		
	натуральные / кодированные		
Скорость движения пружинно-волнового катка v , км/ч	7 / -1	12 / 0	15 / +1
Усилие сжатия пружин, установленных на уплотнителях C , Н	0 / -1	1684 / 0	3368 / +1
Масса балласта m , кг	0 / -1	50 / 0	100 / +1

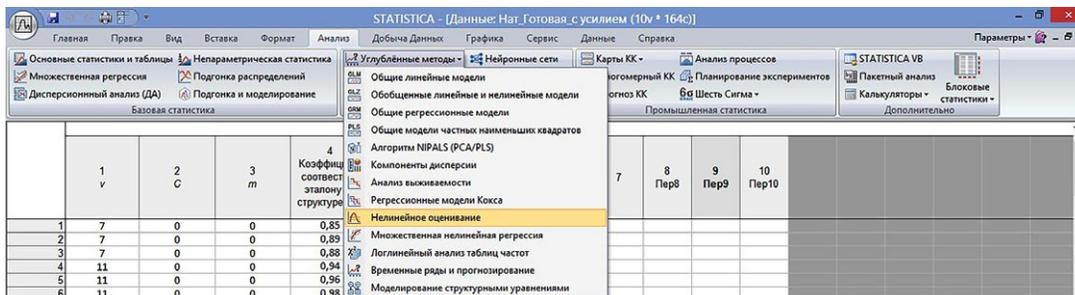


Рис. 2. Нелинейное оценивание влияния исследуемых независимых факторов процесса прикатывания на критерий оптимизации.
Fig. 2. Nonlinear assessment of influence of the studied independent factors of packing on the optimization criterion.

Вкладка нелинейное оценивание позволяет найти уравнения регрессии разных видов, для получения наиболее подходящего, из которых нами использована вкладка модуля нелинейного оценивания «Регрессия пользователя — произвольная функция потерь» (рис. 3).

После нажатия кнопки **OK**, самостоятельно вводим оцениваемую функцию, представленную формулой (1). Функцию потерь оставляем ту, которую предлагает программа (рис. 4). После этого появляется окно, представленное на рис. 5. Далее нужно ещё раз нажать кнопку **OK** для появления окна с таблицей, в которой представлены значения необходимых нам коэффициентов заданной ранее формы уравнения (рис. 6).

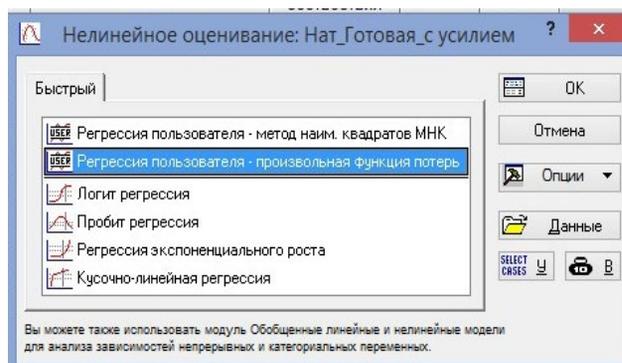


Рис. 3. Использование модуля нелинейного оценивания.
Fig. 3. Use of the nonlinear assessment module.

$$v_6 = b_0 + b_1 \cdot v_1 + b_2 \cdot v_2 + b_3 \cdot v_3 + b_{12} \cdot v_1 \cdot v_2 + b_{13} \cdot v_1 \cdot v_3 + b_{23} \cdot v_2 \cdot v_3 + b_{11} \cdot v_1 \cdot v_1 + b_{22} \cdot v_2 \cdot v_2 + b_{33} \cdot v_3 \cdot v_3. \tag{1}$$

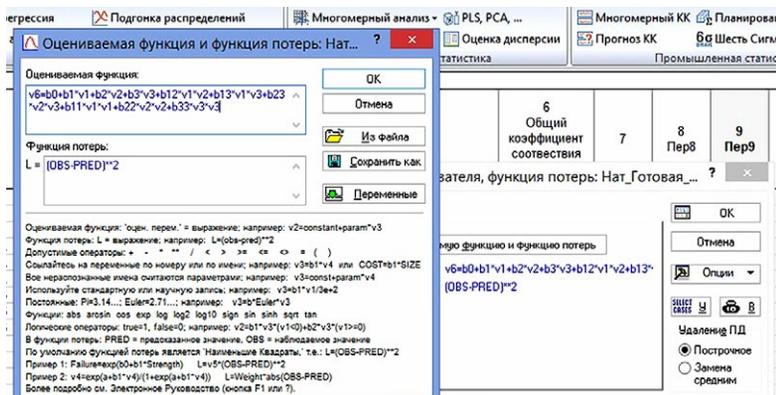


Рис. 4. Окно с основной расчётной формулой и формулой потерь.
Fig. 4. A window with the main function and the function of losses.

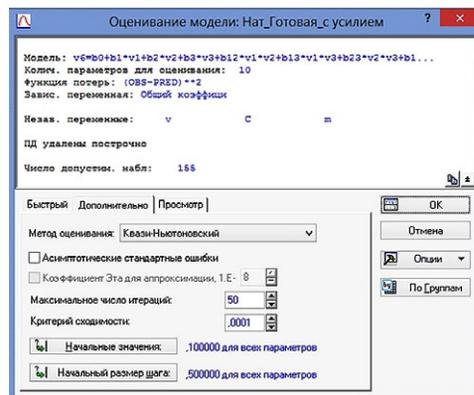


Рис. 5. Оценка влияния принятых переменных на основную модель.
Fig. 5. Assessment of influence of the chosen variables on the main model.

остатков, в результате чего получим соответствующий график (рис. 9).

Из представленного выше графика, видно, что все точки остатков находятся практически на одной линии, следовательно, можно сделать вывод об адекватности полученного уравнения регрессии.

ВЫВОДЫ

Анализ результатов экспериментальных исследований позволил получить уравнение регрессии, которое адекватно описывает степень влияния независимых факторов на коэффициент приближения к эталону $k_{пз}$. Выявлено, что на качество обработки наибольшее влияние оказывает усилие, создаваемое пружинами сжатия одного уплотнителя, а наименьшее — скорость движения катка.

Также выявлено, что максимальное значение $k_{пз}$ при использовании предлагаемого пружинно-волнового катка составляет 0,81. Такое качество прикатывания достигается при скорости движения катка $v = 11$ км/ч, суммарном усилии, создаваемом пружинами сжатия одного уплотнителя $C = 1750$ Н и массе балласта $m = 70$ кг. Максимальный $k_{пз}$, достигаемый при работе серийно выпускаемого катка ККЗ-6, составляет 0,57, что на 42,1% хуже, чем у предлагаемого катка.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. Прошкин В.Е., Прошкин Е.Н., Курюшин В.В. — поиск публикаций по теме статьи, написание

текста рукописи; Курдюмов В.И. — редактирование текста рукописи; Богатский Р.В. — создание изображений; Курдюмов В.И. — экспертная оценка, утверждение финальной версии. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов.

Источники финансирования. Работа выполняется в рамках гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских учёных — кандидатов наук МК-5360.2022.4.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. V.E. Proshkin, E.N. Proshkin, V.V. Kurushin — search for publications on the topic of the article, writing the text of the manuscript; V.I. Kurdyumov — editing the text of the manuscript; R.V. Bogatsky — creating images; V.I. Kurdyumov — expert opinion, approval of the final version. The authors attest that they meet the ICMJE international criteria for authorship (all authors made substantial contributions to the conceptualization, research, and preparation of the article, and read and approved the final version before publication).

Competing of interests. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest.

Funding source. This work was supported with the Russian Federation Presidential grant for state support of young scientists — candidates of sciences (No. МК-5360.2022.4).

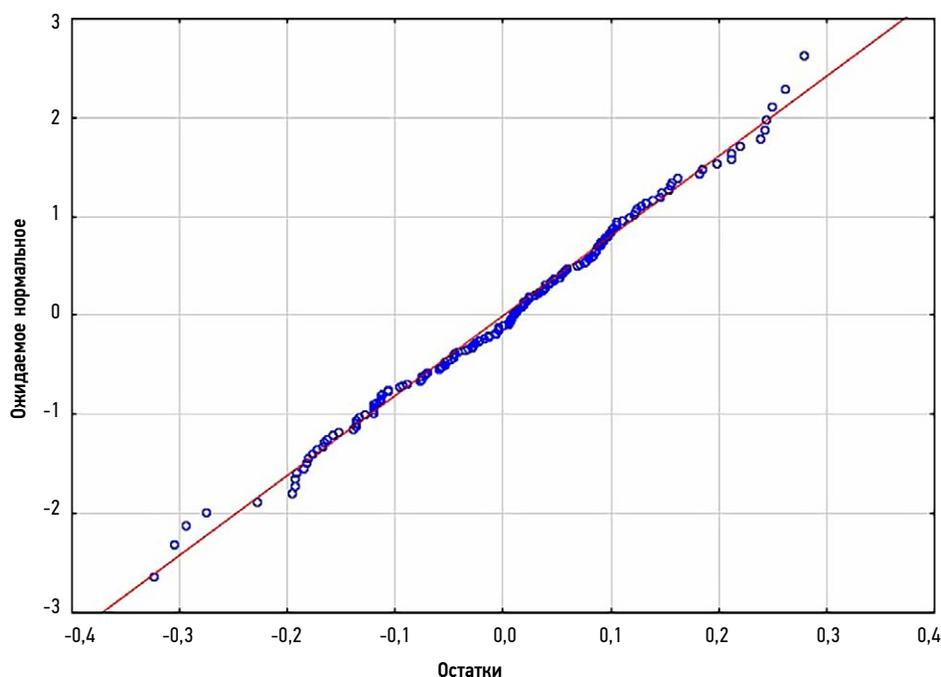


Рис. 9. Нормальный вероятностный график остатков.

Fig. 9. Normal probability graph of residuals.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кленин Н.И., Сакун В.А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. М.: Колос, 1994.
2. Раднаев Д.Н., Сергеев Ю.А., Абидуев А.А., и др. Влияние конструкции шпоры катка для сплошного прикатывания на рыхление и уплотнение почвы // Дальневосточный аграрный вестник. 2022. Т. 16, № 4. С. 114–121. doi: 10.22450/199996837_2022_4_114
3. Семенихина Ю.А. Исследование вязкоупругого состояния почвы по воздействию активной поверхности почвообрабатывающего катка // Тракторы и сельхозмашины. 2017. Т. 84, № 7. С. 32–36. doi: 10.17816/0321-4443-66333
4. Кузьминых А.Н. Система предпосевной обработки почвы и урожайность ярового ячменя // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2020. Т. 6, № 1. С. 32–39. doi: 10.30914/2411-9687-2020-6-1-32-38
5. Синеоков Г.Н. Проектирование почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение, 1965.
6. Ефимов А.Г., Калюжный В.Г. Механические приёмы ухода за посевами // Соя: биология и технология возделывания: под ред. В.Ф. Баранова, В. М. Лукомца. Краснодар: Советская Кубань, 2005.
7. Сурин Р.О., Соколов М.С., Щитов С.В., и др. Применение комбинированного сельскохозяйственного агрегата на щелевании и прикатывании в условиях Амурской области // JARITS. 2023. № 35. С. 88–92. doi: 10.26160/2474-5901-2023-35-88-92
8. Камбулов С.И., Пархоменко Г.Г., Семенихина Ю.А., и др. Использование мульчирующих катков в конструкции комбинированных почвообрабатывающих агрегатов // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 3 (23). С. 113–121. doi: 10.33952/2542-0720-2020-3-23-113-121
9. Петровец В.Р., Гайдуков В.А. Влияние прикатывающих катков сошников на плотность почвы семенного ложа // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. 2022. № 1 (21). С. 5–9.
10. Kurdyumov V.I., Proshkin V.E., Kurushin V.V., et al. Field studies of the wave roller // E3S Web Conf. 2023. Vol. 392. P. 02030. doi: 10.1051/e3sconf/202339202030
11. Курдюмов В.И., Прошкин В.Е., Прошкин Е.Н., и др. К определению силы воздействия вибркатка на почву // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 2 (58). С. 13–17. doi: 10.18286/1816-4501-2022-2-13-17

REFERENCES

1. Klenin NI, Sakun VA. *Agricultural and reclamation machines*. Moscow: Kolos; 1994. (in Russ).
2. Radnaev DN, Sergeev YuA, Abiduev AA, et al. Influence of the design of the roller spur for continuous compaction on loosening and compaction of soil. *Dalnevostochnyy agrarnyy vestnik*. 2022;16(4):114–121. (in Russ). doi: 10.22450/199996837_2022_4_114
3. Semenikhina YA. Investigation of viscoelastic state of soil under the influence of active surface of the tillage roller. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2017;84(7):32–36. (in Russ). doi: 10.17816/0321-4443-66333
4. Kuzminykh AN. Pre-sowing soil tillage system and spring barley yield. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Selskokhozyaystvennye nauki. Ekonomicheskie nauki*. 2020;6(1):32–39. (in Russ). doi: 10.30914/2411-9687-2020-6-1-32-38
5. Sineokov GN. *Design of tillage machines*. Moscow: Mashinostroenie; 1965. (in Russ).
6. Efimov AG, Kalyuzhny VG. Mechanical techniques for caring for crops. In: *Soybean: biology and cultivation technology*: eds. VF Baranov, VM Lukomets. Krasnodar: Sovetskaya Kuban; 2005. (in Russ).
7. Surin RO, Sokolov MS, Shchitov SV, et al. Application of a combined agricultural machine for slotting and rolling in the conditions of the Amur region. *JARITS*. 2023;35:88–92. (in Russ). doi: 10.26160/2474-5901-2023-35-88-92
8. Kambulov SI, Parkhomenko GG, Semenikhina YuA, et al. The use of mulching rollers in the design of combined tillage units. *Tavrisheskiy vestnik agrarnoy nauki*. 2020;3(23):113–121. (in Russ). doi: 10.33952/2542-0720-2020-3-23-113-121
9. Petrovets VR, Gaidukov VA. The influence of press rollers of coulters on the density of the soil of the seed bed. *Konstruirovaniye, ispolzovanie i nadezhnost mashin selskokhozyaystvennogo naznacheniya*. 2022;1(21):5–9. (in Russ).
10. Kurdyumov VI, Proshkin VE, Kurushin VV, et al. Field studies of the wave roller. *E3S Web Conf*. 2023;392:02030. doi: 10.1051/e3sconf/202339202030
11. Kurdyumov VI, Proshkin VE, Proshkin EN, et al. To determine the force of impact of a vibrating roller on the soil. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii*. 2022;2(58):13–17. (in Russ). doi: 10.18286/1816-4501-2022-2-13-17

ОБ АВТОРАХ

* Прошкин Вячеслав Евгеньевич,
канд. техн. наук,
доцент кафедры «Агротехнологии, машины
и безопасность жизнедеятельности»;
адрес: Российская Федерация, 432017, Ульяновск,
б-р Новый Венец, д. 1;
ORCID: 0000-0002-0307-3411;
eLibrary SPIN: 1501-8513;
e-mail: veproshkin1993@gmail.com

AUTHORS' INFO

* Vyacheslav E. Proshkin,
Cand. Sci (Tech.),
Associate Professor of the Agrotechnology, Machinery
and Life Safety Department;
address: 1 Novy Venets boulevard, 432017 Ulyanovsk,
Russian Federation;
ORCID: 0000-0002-0307-3411;
eLibrary SPIN: 1501-8513;
e-mail: veproshkin1993@gmail.com

Курдюмов Владимир Иванович,

профессор, д-р техн. наук,
заведующий кафедрой «Агротехнологии, машины
и безопасность жизнедеятельности»;
ORCID: 0000-0003-1603-1779;
eLibrary SPIN: 2823-4234;
e-mail: bgdie@yandex.ru

Прошкин Евгений Николаевич,

доцент, канд. техн. наук,
доцент кафедры «Эксплуатация мобильных машин
и технологического оборудования»;
ORCID: 0009-0007-3900-1413;
eLibrary SPIN: 8680-5095;
e-mail: mobilemach-dep@ugsha.ru

Курушин Виктор Валерьевич,

канд. техн. наук,
доцент кафедры «Агротехнологии, машины
и безопасность жизнедеятельности»;
ORCID: 0000-0002-1355-5561;
eLibrary SPIN: 2333-8450;
e-mail: bgdie@yandex.ru

Богатский Роман Владимирович,

студент инженерного факультета;
ORCID: 0009-0008-2170-3430;
e-mail: gerald7337@yandex.ru

Vladimir I. Kurdyumov,

Professor, Dr. Sci. (Tech.),
Head of the Agrotechnology, Machinery
and Life Safety Department;
ORCID: 0000-0003-1603-1779;
eLibrary SPIN: 2823-4234;
e-mail: bgdie@yandex.ru

Evgeny N. Proshkin,

Associate Professor, Cand. Sci (Tech.),
Associate Professor of the Operation of Mobile Machines
and Technological Equipment Department;
ORCID: 0009-0007-3900-1413;
eLibrary SPIN: 8680-5095;
e-mail: mobilemach-dep@ugsha.ru

Viktor V. Kurushin,

Cand. Sci (Tech.),
Associate Professor of the Agrotechnology, Machinery
and Life Safety Department;
ORCID: 0000-0002-1355-5561;
eLibrary SPIN: 2333-8450;
e-mail: bgdie@yandex.ru

Roman V. Bogatsky,

Student of the Engineering Faculty;
ORCID: 0009-0008-2170-3430;
e-mail: gerald7337@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author