

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-631576>

Оригинальное исследование



Оптимизация параметров почвообрабатывающего катка по результатам исследований в полевых условиях

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

Ульяновский государственный аграрный университет, Ульяновск, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Прикатывание, как технология, используемая после посева, широко распространена в сельском хозяйстве нашей страны. Изучение существующих способов поверхностной обработки почвы позволило выявить, что одной из основных составляющих этих способов операций является прикатывание, которое способствует улучшению контакта семян с почвой и положительно влияет на прорастание и последующее развитие сельскохозяйственных культур.

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. Нами предложена новая конструкция пружинно-волнового катка, способного обеспечить прикатывание почвы с соблюдением агротехнических требований.

Результаты. В качестве меры при проведении исследований, определяющей эффективность уплотнения почвы при посеве с последующим прикатыванием почвообрабатывающими катками, использовали коэффициент плотности $k_{пл}$, который оценивает качество прикатывания почвы относительно эталонных значений плотности, заданных агротребованиями.

Опираясь на полученные графические интерпретации моделей, было определено, что наилучшее качество прикатывания обеспечивается при скорости движения разработанного пружинно-волнового катка в пределах от 10,75 км/ч до 25 км/ч, двух дополнительных пружинах на уплотнителе и массе балласта 35...45 кг, которая обеспечивает удельное давление пружинно-волнового катка на почву 1450,4...1515,7 Н/м. При этом значения $k_{пл}$ колеблются в интервале от 0,875 до 0,9, что составляет 20% от всей поверхности отклика.

Заключение. В результате проведенного нами исследования выявлено, что предлагаемый пружинно-волновой каток обеспечивает наилучшее качество прикатывания почвы. Максимальное значение $k_{пл}$ почвы, равное 0,9, при её обработке пружинно-волновым катком достигается при скорости агрегата $v = 11$ км/ч, удельном давлении на почву 1450,4 Н/м и двух дополнительных пружинах на уплотнителе ($C = 2$ шт.). Такое значение $k_{пл}$ на 30,4% больше по сравнению со значением коэффициента плотности, достигаемым при использовании наиболее распространенных кольчато-шпоровых катков и на 40,6% больше по сравнению с гладким водоналивным катком.

Ключевые слова: плотность почвы; коэффициент соответствия эталону; урожайность; удельное давление на почву; каток; скорость движения агрегата.

Как цитировать:

Прошкин В.Е., Курдюмов В.И., Богатский Р.В., Прошкин Е.Н. Оптимизация параметров почвообрабатывающего катка по результатам исследований в полевых условиях // Тракторы и сельхозмашины. 2024. Т. 91, № 6. С. 793–800. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-631576>

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-631576>

Original Study Article

Optimization of tillage roller parameters based on field research results

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

Ulyanovsk State Agrarian University, Ulyanovsk, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Rolling, as a technology used after sowing, is widely used in agriculture in our country. The study of existing methods of surface tillage has revealed that one of the main components of these methods of operations is rolling, which improves the contact of seeds with the soil and positively affects the germination and subsequent development of crops.

OBJECTIVE: Improvement of the quality of surface tillage based on the development of a highly efficient spring-wave roller, which meets the agriculture requirements, ensures reduction of operating costs and increase of crop yields.

METHODS: A new design of the tillage roller capable of rolling the soil in compliance with agrotechnical requirements is proposed.

RESULTS: As a measure that determines the effectiveness of soil compaction during sowing with subsequent rolling by tillage rollers during the research, the k_d density coefficient, which evaluates the quality of soil rolling relative to the reference density values set by agricultural requirements, was used.

Based on the obtained graphical interpretations of the models, it was determined that the best rolling quality is achieved at the velocity of the developed tillage roller in the range from 10.75 km/h to 25 km/h, two additional springs at the compactor and a ballast weight of 35...45 kg, which ensures the specific pressure of the spring-wave roller on soil of 1450,4...1515,7 N/m. At the same time, the k_d values range from 0.875 to 0.9, which is 20% of the entire response surface.

CONCLUSIONS: As a result of the research, it was revealed that the proposed tillage roller ensures the best quality of soil rolling. The maximal value of the k_d of soil equals to 0.9 and is achieved when treated with a tillage roller at a unit velocity of $v = 11$ km/h, a specific pressure on the soil of 1450.4 N/m and two additional springs at the compactor ($C = 2$ pcs.). This k_d value is 30.4% higher compared to the density coefficient value achieved using the most common tillage rollers and 40.6% higher compared to a smooth water-filling roller.

Keywords: soil density; template correspondence coefficient; yield rate; specific pressure on soil; roller; unit velocity.

To cite this article:

Proshkin VE, Kurdyumov VI, Bogatsky RV, Proshkin EN. Optimization of tillage roller parameters based on field research results. *Tractors and agricultural machinery*. 2024;91(6):793–800. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-631576>

Received: 03.05.2024

Accepted: 27.12.2024

Published online: 27.12.2024

ВВЕДЕНИЕ

Прикатывание, как технология, играет важнейшую роль для сельского хозяйства в целом, поскольку влияние на развитие семени и рост растения в начальной фазе его развития оказывает контакт семени с почвой и состояние водно-воздушной среды. Следовательно, применение данного вида обработки непосредственно после посева, оказывает положительный эффект, обеспечивая повышение урожайности до 12% при выполнении агротехнических требований [1–4]. Это связано с тем, что невыполнение требований к обработке почвы, например, по плотности, приводит к снижению урожайности, поскольку переуплотнение или низкая плотность почвы снижает объём пор воздуха и воды в почве или уменьшает контакт с ней семени. Анализ технологий посева культур без прикатывания или посева по стерне показал, что полевая всхожесть семян по сравнению с лабораторной в таких технологиях снижается больше, чем на 25% [5–8].

Проведённая нами подготовительная и аналитическая работа была направлена на определение основных конструктивных особенностей существующих катков. В результате выявлено, что для обеспечения требований по плотности и агрегатному составу почвы катки, как правило, оснащают дополнительными рабочими элементами, такими как выступы разных форм и размеров, ножами и т.д.

Для оценки качества обработки поверхности почвы с использованием почвообрабатывающих катков используют различные оценки отдельных характеристик почвы, например, её плотность. Но чтобы агротехнические требования были соблюдены в полной мере, требуется обеспечить достаточное уплотнение подсеменного ложа и наоборот, создать относительно рыхлый надсеменной слой почвы. Это помогает снизить потери влаги и эрозию от ветра, а также улучшает прогрев почвы. Прикатывание также способствует улучшению контакта между высевными семенами и почвой, положительно влияя на дальнейший рост и развитие растений [9–11].

На развитие озимых культур оказывает влияние разнорельефный рельеф поверхности почвы, создающийся в период их посева. Благодаря гребням и впадинам, образованным после прикатывания почвы формирующими рельеф почвообрабатывающими катками, увеличивается возможность появления дружных всходов из-за различия в получаемом количестве теплоты и света. Это также способствует повышению выживаемости растений в зимний период года и ускоряет их рост и развитие с наступлением тёплого периода.

Катки, серийно выпускаемые промышленностью, не в состоянии обеспечить требуемое качество почвы по плотности, поскольку после их применения поверхность почвы чаще всего переуплотнена. Структура почвы также не соответствует агротехническим требованиям, из-за чего страдает урожайность [12, 13]. С учетом

изложенного выше, нами разработан каток для реализации на поверхности почвы рельефа в виде волн. Применение технологии волнового прикатывания основано на обеспечении разнокачественности растений в начальный период роста и дальнейшего развития. Особенно явно это прослеживается на озимых культурах, возделываемых в зонах рискованного земледелия, поскольку гребень волны лучше прогревается, а впадины хорошо накапливают влагу, что оказывает положительное влияние на растения. При этом разнокачественное развитие способствует здоровой конкуренции растений, что позволяет получить повышенный урожай.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На рис. 1 представлен разработанный нами пружинно-волновой каток [14]. Для реализации на поверхности почвы рельефа в виде волн каток снабжён уплотняющими элементами в форме сегментов. В свою очередь, пружины, установленные на каждом из этих уплотняющих элементах, создают дополнительную силу, которая обеспечивает плавное увеличение давления на почву в зоне контакта. Это позволяет эффективно обеспечивать необходимую плотность в верхних слоях почвы. При этом уплотняющие элементы, возвращаясь в исходное положение, колеблются, что обеспечивает отбрасывание налипшей на них почвы в случае её повышенной влажности.

При проведении исследований катка для определения плотности почвы на опытных и контрольных участках, был использован плотномер, выполненный по патенту РФ на полезную модель № 149064 (рис. 2). Применение такого плотномера позволяет определить плотность почвы по слоям, а также за счёт небольшой толщины стенок и возможности вращения корпуса предотвратить смещение слоёв почвы, что повышает качество отбора проб.

Полученные пробы взвешивали на весах ОНАУS Pioneer PA413 для снижения влияния окружающей среды на дальнейший результат.

Уплотнение почвы и доведения ее состояния до соответствия требованиям, предъявляемым к выращиванию сельскохозяйственных культур, необходимо для получения высокого и стабильного урожая. Поскольку плотность почвы играет основную роль при развитии семени, начальном росте растения и формировании корневой системы, то необходимым условием получения высоких урожаев является поддержание плотности почвы в допустимом агротехническими требованиями интервале. Для этого после контроля показателей исходного состояния почвы выполняют прикатывание ее поверхности почвообрабатывающими катками с целью доведения плотности в надсеменном слое до требуемого значения [15].



Рис. 1. Пружинно-волновой каток.

Fig. 1. A tillage roller.



Рис. 2. Плотномер по патенту РФ на полезную модель № 149064.

Fig. 2. A densometer according to the utility model patent RU № 149064.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Полученные данные полевых исследований обрабатывали с помощью лицензионных специализированных программ, таких как Excel и Statistika. В этих программах, кроме статистической обработки результатов, можно выполнить оценку адекватности полученных моделей и значимость её коэффициентов.

Математическая модель любого технологического процесса должна отражать зависимость критерия оптимизации рассматриваемого процесса от его основных факторов.

Как отмечено выше, критерий оптимизации процесса поверхностной обработки катком должен отражать качество этой обработки, а независимыми факторами процесса в этом случае являются: скорость катка, его масса при заданной ширине захвата, которая отражает удельное давление катка на почву, а также суммарное усилие сжатия пружин, характеризующее как степень равномерности вращения катка, так и величину силы дополнительного воздействия уплотнителей на почву (табл. 1).

Таблица 1. Границы изменяемых конструктивно-режимных параметров разработанного пружинно-волнового катка

Table 1. Limits of variable design-and-operation parameters of the developed tillage roller

Факторы, оказывающие непосредственное влияние на качество обработки почвы предлагаемым катком	Натуральное / кодированное значение фактора		
Скорость v , км/ч / X	7 / -1	11 / 0	15 / +1
Масса балласта m , кг / Y	0 / -1	50 / 0	100 / +1
Количество дополнительных пружин на уплотнителе C , шт. / Z	0 / -1	2 / 0	4 / +1

Для анализа результатов исследования использовали систему классификации факторов, которая помогла провести качественный анализ полученных регрессионных уравнений и определить важность каждого параметра в этих уравнениях.

В качестве меры, определяющей эффективность уплотнения почвы при посеве с последующим прикатыванием почвообрабатывающими катками, использовали

коэффициент плотности $k_{пл}$, который оценивает качество прикатывания почвы относительно эталонных значений плотности, заданных агротребованиями. Этот коэффициент позволяет сравнить фактическую плотность почвы после обработки с её эталонными значениями и таким образом оценить качество работы катка.

После обработки экспериментальных данных были получены адекватные уравнения регрессии, описывающие взаимосвязь между конструктивно-режимными параметрами разработанного катка и значениями критерия оптимизации. Эти уравнения позволяют определить, какой из параметров оказывает наибольшее влияние на принятый критерий. В уравнения (1), (3) и (5) подставляются параметры в натуральных значениях, а в уравнение (2), (4) и (6) — в кодированных:

$$k_{пл} = 0,6607 + 0,0291v + 0,0021m - 0,0011v^2 - 4,7824 \cdot 10^{-5}vm - 1,9378 \cdot 10^{-5}m^2 \quad (1)$$

$$K = 0,8744 + 0,0069X - 0,0172Y - 0,0181X^2 - 0,0096XY - 0,0484Y^2, \quad (2)$$

$$k_{пл} = 0,6037 + 0,0313v + 0,0883C - 0,0011v^2 - 0,0023vC - 0,0142C^2, \quad (3)$$

$$K = 0,8798 + 0,0069X + 0,0124Z - 0,0181X^2 - 0,0185XZ - 0,0566Z^2, \quad (4)$$

$$k_{пл} = 0,7872 + 0,0018m + 0,0691C - 1,9378 \cdot 10^{-5}m^2 - 0,0001mC - 0,0142C^2, \quad (5)$$

$$K = 0,9 - 0,0172Y + 0,0124Z - 0,0484Y^2 - 0,0126YZ - 0,0566Z^2. \quad (6)$$

Проанализировав приведённые уравнения, можно заключить что большее влияние на $k_{пл}$ оказывает количество дополнительных пружин на уплотняющих элементах. В свою очередь, масса балласта оказалась менее значима, а именно, на 14,5%.

При этом скорость движения разработанного пружинно-волнового катка на $k_{пл}$ оказывает на 68% меньший эффект, чем количество дополнительных пружин.

Чтобы оценить влияние на $k_{пл}$ независимых факторов, представленных выше, в программе STATISTICA 10 с помощью функции «графики поверхностей» нами построены 3D-графики для натуральных значений факторов, а также 2D-графики для их кодированных значений (рис. 3 и 4 соответственно).

На основе анализа полученных данных и графического описания моделей выявлено, что максимальное значение $k_{пл}$ формируется при скорости движения исследуемого катка в пределах от 10,75 км/ч до 25 км/ч, двух дополнительных пружинах на уплотнителе и массе балласта 35...45 кг, которая обеспечивает удельное давление пружинно-волнового катка на почву 1450,4...1515,7 Н/м. При этом значения $k_{пл}$ колеблются в интервале от 0,875

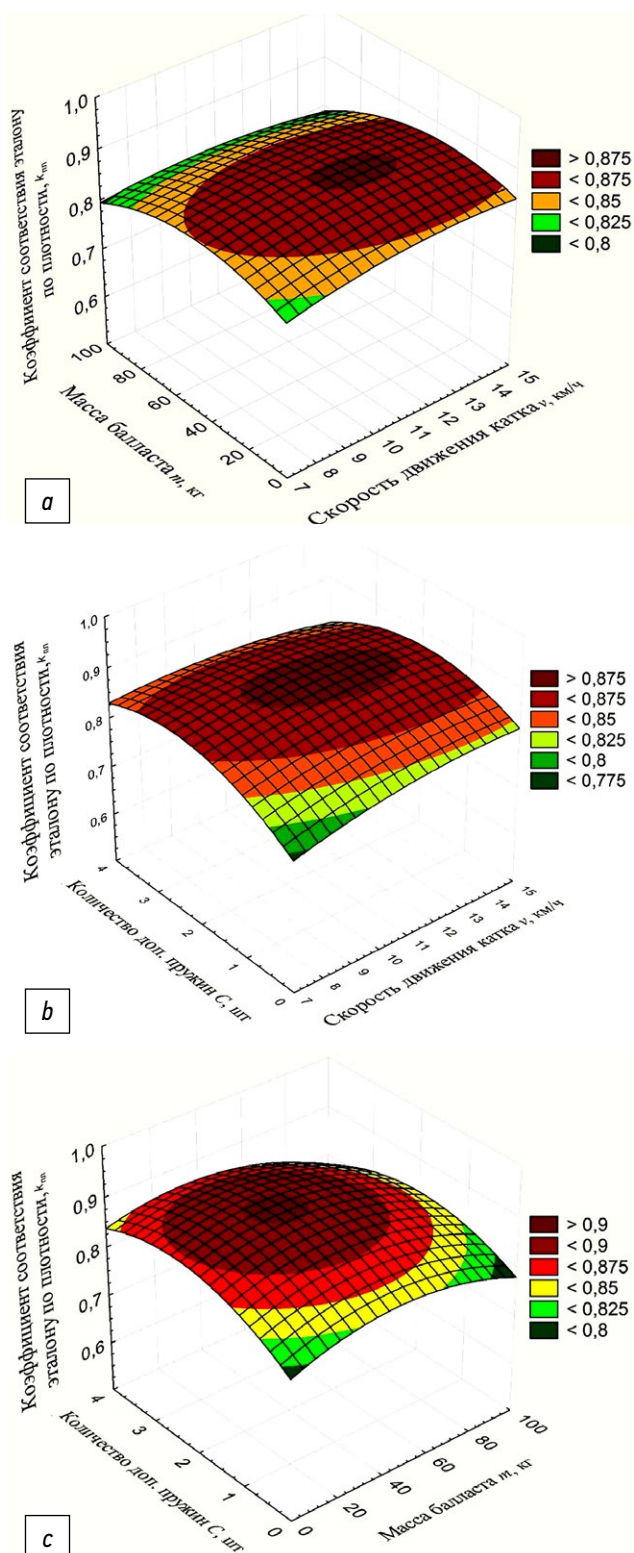


Рис. 3. 3D-график влияния на $k_{пл}$ независимых факторов в натуральных значениях: а — скорости и массы балласта; б — скорости и количества дополнительных пружин; с — массы балласта и количества дополнительных пружин.

Fig. 3. The 3D graphs of influence of independent factors on the $k_{пл}$ in natural values: а — velocity and mass of ballast; б — velocity and value of additional springs; с — mass of ballast and value of additional springs.

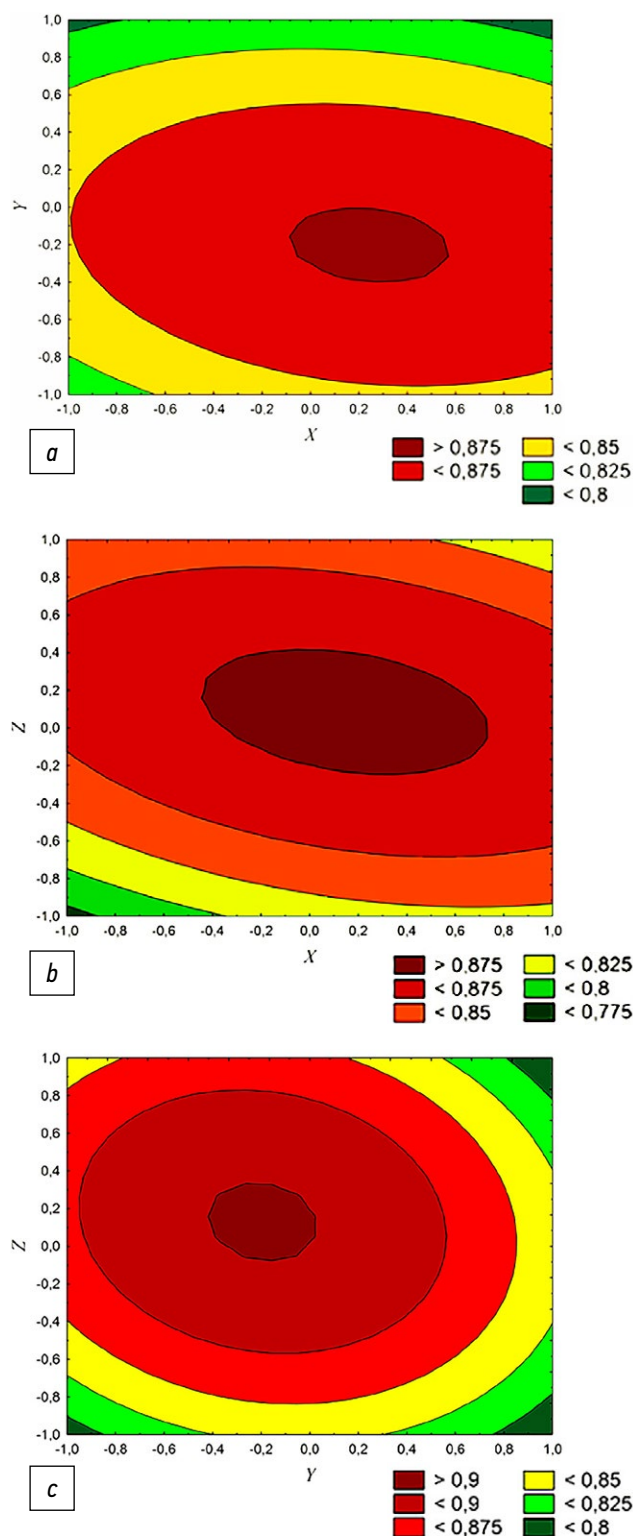


Рис. 4. 2D-график влияния на k_{nl} независимых факторов в кодированных значениях: *a* — скорости и массы балласта; *b* — скорости и количества дополнительных пружин; *c* — массы балласта и количества дополнительных пружин.

Fig. 4. The 2D graphs of influence of independent factors on the k_d in coded values: *a* — velocity and mass of ballast; *b* — velocity and value of additional springs; *c* — mass of ballast and value of additional springs.

до 0,9, а площадь области оптимума составляет 20% от всей поверхности отклика.

ОБСУЖДЕНИЕ

Одновременно с предлагаемым пружинно-волновым катком на исследуемом участке поля также проводили прикатывание почвы кольчато-шпоровым и гладким водоналивным катками. После прикатывания отбирали пробы почвы для каждого из исследуемых катков. В результате сравнения данных, полученных после поверхностной обработки, выявлено, что k_{nl} на участке поля с послепопосевным прикатыванием ККШ-6, составил 0,69, что значительно ниже, чем у предлагаемого катка ($k_{nl} = 0,9$).

Полученные данные производственных исследований нового катка показали, что урожайность ячменя возросла на 33,3% (до 20,8 ц/га) по сравнению с урожайностью участка, где применялось послепопосевное прикатывание катком ККШ-6. Разработанным катком также прикатывали почву после посева пшеницы, урожайность которой, в свою очередь, увеличилась на 16,5% (до 19,1 ц/га) по сравнению с урожайностью, полученной после обработки почвы гладким водоналивным катком, который обеспечил k_{nl} , не превышающий 0,64.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённого нами исследования выявлено, что предлагаемый пружинно-волновой каток обеспечивает наилучшее качество прикатывания почвы. Максимальное значение k_{nl} почвы, равное 0,9, при её обработке пружинно-волновым катком достигается при скорости агрегата $v = 11$ км/ч, удельном давлении на почву 1450,4 Н/м и двух дополнительных пружинах на уплотнителе ($C = 2$ шт.). Такое значение k_{nl} на 30,4% больше по сравнению со значением коэффициента плотности, достигаемым при использовании наиболее распространенных кольчато-шпоровых катков и на 40,6% больше по сравнению с гладким водоналивным катком.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. В.Е. Прошкин, Е.Н. Прошкин — поиск публикаций по теме статьи, написание текста рукописи; В.И. Курдюмов — редактирование текста рукописи; Р.В. Богатский — создание изображений; В.И. Курдюмов — 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, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. V.E. Proshkin, E.N. Proshkin — search for publications on the topic of the manuscript, 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. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

1. Chatkin MN, Fedorov SE, Zhalnina AA. Determination of parameters of the mechanism of regulation of the roller of a combined cultivator for differentiated tillage. *Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev*. 2023;15(3):163–169. (In Russ.) doi: 10.36508/RSATU.2023.75.18.021
2. Klenin NI, Sakun VA. Agricultural and reclamation machines. 1994:751. (In Russ.). ISBN 5-9532-0035-8. EDN: QKWTWF
3. Dalsky N. How to choose a rolling roller for a combined unit? *Our agriculture*. 2023;9(305):24–28. (In Russ.)
4. Radnaev DN, Kalashnikov SS, Badmatsyrenov DTsB, et al. Substantiation of rational parameters of the rolling roller of a combined coulters when sowing grain crops. *Far Eastern Agrarian Bulletin*. 2022;2(62):158–167. (In Russ.) doi: 10.22450/19996837_2022_2_158
5. Semenikhina YuA. Investigation of the viscoelastic state of the soil under the influence of the active surface of the tillage roller. *Tractors and agricultural machinery*. 2017;7:32–36. (In Russ.) doi: 10.17816/0321-4443-66333 EDN: ZDNIJB
6. Wide-reach screw rollers for rolling crops. *AgroSnabForum*. 2015;1–2(131):40. (In Russ.)
7. Kuzminykh AN. The system of pre-sowing tillage and the yield of spring barley. *Bulletin of the Mari State University. Series: Agricultural Sciences. Economic sciences*. 2020;6,1(21):32–39. (In Russ.) doi: 10.30914/2411-9687-2020-6-1-32-38
8. Petrochenko NO. Save soil moisture today — get a rich harvest tomorrow! *Our agriculture*. 2023;5(301):4–14. (In Russ.)
9. Petrov MV. Changes in the agrophysical properties of the soil depending on the main tillage in various types

of the agricultural landscape of the Ulyanovsk region. *Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Agricultural sciences*. 2022;1,2(2):67–70. (In Russ.) doi: 10.37313/2782-6562-2022-1-2-67-70

10. Linkov SA, Shiryayev AV, Akinchin AV, et al. Assessment of the state of water-physical properties in areas with different tillage systems. *Innovations in agriculture: problems and prospects*. 2023;4(40):117–124. (In Russ.) doi: 10.31857/S0032180X23040054

11. Kambulov SI, Parkhomenko GG, Semenikhina YuA, et al. The use of mulching rollers in the construction of combined tillage units. *Tauride bulletin of Agrarian Science*. 2020;3(23):113–121. (In Russ.) doi: 10.33952/2542-0720-2020-3-23-113-121

12. Petrovets VR, Gaidukov VA. The influence of rolling rollers of coulters on the density of the soil of the seedbed. *Design, use and reliability of agricultural machinery*. 2022;1(21):5–9. (In Russ.)

13. Proshkin VE, Kurdyumov VI, Proshkin EN, et al. Studies of a spring-wave roller in the field. *Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*. 2023;3(63):224–229. (In Russ.) doi: 10.18286/1816-4501-2023-3-224-229

14. Proshkin VE, Kurdyumov VI, Proshkin EN, et al. Analysis of the results of field research of the spring-wave roller. *Tractors and agricultural machinery*. 2023;90(5):405–412. (In Russ.) doi: 10.17816/0321-4443-567933 EDN: KQOJIF

15. Proshkin VE, Kurdyumov VI, Sharonov IA, Yakovlev SA. Results of field research of a rod-disc roller. *Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*. 2023;4(64):229–234. (In Russ.) doi: 10.18286/1816-4501-2023-4-229-234

ОБ АВТОРАХ

* Прошкин Вячеслав Евгеньевич,

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

Курдюмов Владимир Иванович,

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

AUTHORS' INFO

* Vyacheslav E. Proshkin,

Cand. Sci. (Engineering),
Associate Professor of the Agrotechnology, Machinery and Life Safety Department;
address: 1 Novy Venets blvd, Ulyanovsk, Russia, 432017;
ORCID: 0000-0002-0307-3411;
eLibrary SPIN: 1501-8513;
e-mail: veproshkin1993@gmail.com

Vladimir I. Kurdyumov,

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

Богатский Роман Владимирович,

студент инженерного факультета;
ORCID: 0009-0008-2170-3430;
eLibrary SPIN: 8673-0942;
e-mail: gerald7337@yandex.ru

Прошкин Евгений Николаевич,

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

Roman V. Bogatsky,

Student of the Engineering Faculty;
ORCID: 0009-0008-2170-3430;
eLibrary SPIN: 8673-0942;
e-mail: gerald7337@yandex.ru

Evgeny N. Proshkin,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor,
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

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author