

### Производственные исследования планчато-волнового катка

**В. Е. Прошкин**✉, кандидат технических наук, доцент кафедры «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

**В. И. Курдюмов**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

**Р. В. Богатский**, студент 5 курса инженерного факультета Ульяновского ГАУ

**Е. Н. Прошкин**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация мобильных машин и технологического оборудования»

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432000, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, дом 1

✉veproshkin1993@gmail.com

**Резюме.** В условиях современного сельского хозяйства актуальна задача повышения эффективности энерго- и ресурсосберегающих технологий почвообработки. В статье описывается разработанный планчато-волновой каток, конструкция которого представляет собой чередование перфорированных желобов с отверстиями, расположенными в шахматном порядке, соответствующих максимальному размеру почвенного комка (до 50 мм), и планок. Такие особенности конструкции позволяют улучшить крошение, уплотнение и выравнивание поверхности почвы, сохранив ее структуру. Исследования проводились в реальных условиях на полях Ульяновской области. Качество обработки оценивали при рекомендуемой влажности почвы (19...22%), по гребнистости поверхности (не более  $\pm 0,04$  м), плотности и агрегатному составу почвы. Разработанный каток обеспечил лучшие, по сравнению с планчатым катком культиватора «Твист-8», показатели: плотность почвы находилась в допустимых пределах, агрегатный состав соответствовал стандарту - ГОСТу 26244-84 «Обработка почвы предпосевная. Требования к качеству и методы определения». При этом критерий оптимизации процесса прикатывания  $k_{\text{св}}$  составил 0,94, что на 37% выше, чем у указанного выше планчатого катка. Таким образом, каток новой конструкции повышает качество предпосевной подготовки почвы, а также способствует росту урожайности ячменя на 11,3%.

**Ключевые слова:** энерго- и ресурсосберегающие технологии, почвообрабатывающие машины, планчато-волновой каток, урожайность, плотность, структура, гребнистость, почва, почвенные комки, критерий оптимизации

**Для цитирования:** Производственные исследования планчато-волнового катка / В. Е. Прошкин, В. И. Курдюмов, Р. В. Богатский, Е. Н. Прошкин // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 4 (72). С. 213-220. doi:10.18286/1816-4501-2025-4-213-220

### Industrial research of a slatted-wave roller

**V. E. Proshkin**✉, **V. I. Kurdyumov**, **R. V. Bogatsky**, **E. N. Proshkin**

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Ulyanovsk State Agrarian University

432000, Ulyanovsk, Novyi Venets Boulevard, Building 1

veproshkin1993@gmail.com

**Abstract.** Increasing the efficiency of energy- and resource-saving soil cultivation technologies is a pressing issue in modern agriculture. This article describes a newly developed slatted-wave roller, the design of which consists of alternating perforated troughs with staggered holes corresponding to the maximum size of a soil clod (up to 50 mm) and slats. These design features improve the crumbling, compaction, and leveling of the soil surface while preserving its structure. Research was conducted under real conditions in the fields of the Ulyanovsk Region. Tillage quality was assessed at the recommended soil moisture content (19–22%) based on surface ridgeness (no more than  $\pm 0.04$  m), soil density, and soil aggregate composition. The developed roller provided better performance compared to the slatted roller of the Twist-8 cultivator: soil density was within acceptable limits, and the aggregate composition complied with the state standard GOST 26244-84 "Pre-sowing soil cultivation. Quality requirements and determination methods." Moreover, the compaction improvement criterion ( $k_{\text{se}}$ ) was 0.94, which is 37% higher than that of the mentioned slatted roller. Thus, the new roller design improves the quality of pre-sowing soil preparation and also contributes to an 11.3% increase in barley yield.

**Keywords:** energy- and resource-saving technologies, tillage machines, slatted-wave roller, yield, density, structure, ridge, soil, soil clods, improvement criterion.

**For citation:** Industrial research of a slatted-wave roller / V. E. Proshkin, V. I. Kurdyumov, R. V. Bogatsky, E. N. Proshkin // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.4 (72): 213-220 doi:10.18286/1816-4501-2025-4-213-220

Работа выполняется в рамках гранта «Студенческий стартап 2025», заявка СтС – 501262

### Введение

В современных условиях развития сельского хозяйства всё более остро возникает задача совершенствования и внедрения энерго- и ресурсосберегающих технологий обработки почвы. Рациональное использование почвообрабатывающих машин и орудий не только обеспечивает повышение урожайности за счет более тщательной подготовки посевного слоя, но и содействует сохранению плодородия почвы. Среди широкого разнообразия машин для предпосевной и основной обработки почвы особое место занимают комбинированные агрегаты, позволяющие выполнять несколько операций за один проход, что значительно ускоряет и оптимизирует технологический процесс, позволяя значительно снизить эксплуатационные затраты [1-3].

Одним из примеров таких машин является культиватор паровой «Твист-8», включающий в свою конструкцию планчатый каток, основная функция которого - крошение больших комков почвы, однако при этом не обеспечивается требуемая плотность почвы, вследствие несовершенства конструкции катка.

Исходя из имеющихся недостатков широко распространённых катков, нами разработан планчато-волновой почвообрабатывающий каток, способный повысить крошение комков почвы и обеспечить лучшее выравнивание ее поверхности, сохраняя при этом структуру и оптимальную плотность обрабатываемого слоя [4-7].

Главная особенность планчато-волнового катка заключается в установке между соседними ребрами

перфорированных желобов. Отверстия в желобах выполнены в шахматном порядке, причем диаметр этих отверстий равен максимально допустимому агротехническими требованиями размеру комка почвы. Это необходимо для обеспечения более качественного дробления крупных почвенных комков, уплотнения почвы и выравнивания её поверхности.

Цель исследований – повышение качества поверхностной обработки почвы на основе разработки планчато-волнового катка, обеспечивающего выполнение агротехнических требований, а также повышение урожайности возделываемых культур.

### Материалы и методы

Для качественной оценки работы планчато-волнового катка нами проведены исследования непосредственно в условиях реального производства в ИПГКФХ Казаков Владимир Павлович Павловского района Ульяновской области. Предлагаемый каток был установлен вместо одной секции планчатого катка, входящего в состав комбинированного сельскохозяйственного агрегата, оснащенного культиватором «Твист-8». Благодаря этому обеспечивалась сравнительная база для исследования, поскольку почва прикатывалась катками различных типов, а именно, предлагаемым планчато-волновым катком (рис. 1) и серийно выпускаемым планчатым катком. После обработки почвы комбинированным агрегатом с исследуемыми катками нами оценено качество этого технологического процесса.



Рис. 1. Производственные исследования сравниваемых катков

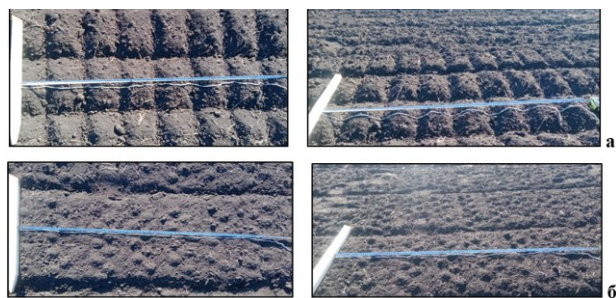
В ходе исследований сравнивали качество обработки почвы предлагаемым катком в сравнении с серийными катками, входящими в состав культиватора «Твист-8», по таким показателям, как влажность, гребнистость, плотность почвы и ее агрегатный состав.

Представленные свойства почвы оказывают влияние как на качество посева сельскохозяйственных культур, так и на эффективность их дальнейшего роста и развития.

### Результаты

Влажность варьировалась в агротехнически заданных пределах и составляла 18...23%. При такой влажности можно проводить все агротехнические операции, начиная от основной обработки почвы и заканчивая посевом и прикатыванием. Обработка почвы с влажностью, превышающей допустимые пределы, заданные агротехническими требованиями, влияет как на работу агрегата, так и на урожайность культур.

После прикатывания почвы исследуемыми катками проводили оценку гребнистости ее поверхности (рис. 2).



**Рис. 2. Гребнистость почвы после прикатывания катками: а) серийным планчатым; б) планчато-волновым**

На рисунках видно, что гребнистость почвы при обработке предлагаемым катком ниже в сравнении с планчатым катком на 9,4%, что подтверждают приведенные в таблице данные. Следовательно, поверхность почвы после прохода планчато-волнового катка более выровнена, что имеет значение для яровых культур.

**Таблица. Результаты исследования гребнистости поверхности почвы**

Каток	Длина шнура на один погонный метр, см/м					
	$l_1$	$l_2$	$l_3$	$l_4$	$l_5$	$l_{cp}$
Планчатый каток	117,6	119,4	115,7	117,7	116,8	117,44
Планчато-волновой каток	105,2	108,3	107,3	106,7	104,4	106,38

Одним из важных показателей качества обработки почвы является её плотность, которая

существенно влияет на урожайность выращиваемых культур. От плотности почвы напрямую зависит развитие корневой системы растений: при чрезмерном уплотнении корням становится трудно проникать в нижние слои почвы. Этот показатель оценивали с помощью устройства для послойного определения плотности почвы, которое позволяет определить плотность на глубину до 90 мм от поверхности почвы [8].

Помимо плотности на качество подготовки почвы к посеву оказывает влияние и её структура. Согласно агротехническим рекомендациям при предпосевной обработке почвы размер комков не должен превышать 50 мм, при этом наибольшую ценность представляют частицы размером более 0,25 мм.

Для оценки структурного состава почвы на исследуемых участках была применена следующая методика: на диагоналях участков с помощью деревянной рамки размером 0,5×0,5 м брали пробы почвы. Рамку располагали на поверхности почвы, из неё на глубину заделки семян (60 мм) извлекали образцы почвы, сначала крупные комки, затем мелкие [9, 10].

Для повышения достоверности результатов пробы почвы брали в десяти повторностях (рис. 3). После отбора образцы помещали в сушильный шкаф на 6 часов и более до достижения воздушно-сухого состояния. Затем пробы просеивали через лабораторные контрольные сита с виброприводом. Взвешивание всех фракций, полученных после просеивания, проводили на высокоточных весах OHAUS ITEM PA213 с точностью до  $\pm 0,01$  г.



**Рис. 3. Оценка структуры почвы после прикатывания катками: а) планчато-волновым; б) планчатым**

Результаты исследования структурного состава почвы на контрольных и опытных участках предоставили ценную информацию о качестве ее подготовки и влиянии разработанного почвообрабатывающего катка на структуру почв. После внесения результатов

измерений в электронную таблицу программного пакета Microsoft Excel с помощью данного инструментария выполняли расчеты для получения плотности почвы  $\rho_n$  по слоям (рис. 4).



№ замера	Фракции										Масса пробы почвы на плотность, г		
	Содержание, г												
	более 50 мм	50...10 мм	10...7 мм	7...5 мм	5...3 мм	3...1 мм	1...0,5 мм	0,5...0,25 мм	менее 0,25 мм	S	0...3 см	3...6 см	6...9 см
1		93	52,7	49,5	89,3	315,5	173,9	48,8	9,4	832,1	76,8	111,9	132,9
2		116,2	28,3	21,7	41,6	174,7	105,2	42,3	11,1	541,1	59,3	103,1	141,9
3		250,2	66,8	54,3	95,5	249,7	115,2	31,9	5,4	869,0	112,5	117,5	140,8
4		106,5	32,8	35,4	70,8	309,6	166,6	64	13,7	799,4	81,5	120,7	158,6
5		173,6	72,8	56,8	135,2	345,1	123,1	27,9	9,3	943,8	76,1	123,6	151,8
6		26,3	24,3	61	42	166,3	121,1	51,8	14,7	507,5	91,7	113,6	149,6
7		105,5	37,8	33,5	84,3	200,6	129,3	35,5	3,3	629,8	94,0	123,8	129,3
8		122,9	27,5	93,8	73	241,5	433	26,6	2,2	1020,5	74,5	122,9	160,2
9		123,6	13,4	26,2	73,6	225,5	121,8	21,4	8,1	613,6	80,1	128,3	144,2
10		262,4	33,8	34,1	62,5	271,7	162,3	14,4	5	846,2	80,4	118,9	143,4

Рис. 4. Плотность и агрегатный состав перед посевом

Для оценки качества работы катка нами предложен критерий оптимизации  $k_{сз}$ , который объединяет два основных критерия: по плотности почвы и ее агрегатному составу.

Анализ плотности почвы, прикатанной катком предлагаемой нами конструкции, показал, что она соответствует агротехническим требованиям. Качество обработки почвы после прохода по ней серийного планчатого катка было ниже, поскольку у него расстояние между соседними планками составляет 110 мм, вследствие чего на поверхности почвы оставалось значительное количество комков почвы размером 50...70 мм. При этом создаваемые планками в почве напряжения распределялись неравномерно в ее поверхностном слое, что приводило к большому разбросу значений плотности проб, взятых в различных участках поля.

Количество планок предлагаемого катка определяли из условия, что процессе работы как минимум одна планка должна находиться в контакте с почвой:

$$n \geq \frac{2\pi}{\arccos \frac{R_k - h_{заг}}{R_k}}, \quad (1)$$

где  $R_k$  – радиус катка, мм;  $h_{заг}$  – высота заглубления катка в почву, мм.

Следовательно, количество ребер катка зависит от его радиуса и степени заглубления катка в почву. Путем вычислений нами было установлено, что количество ребер должно быть не менее 8.

По результатам исследования плотности почвы, прикатанной исследуемыми катками, была построена диаграмма, наглядно демонстрирующая положительную разницу по качеству обработки предлагаемым почвообрабатывающим катком в сравнении с серийным (рис. 5).



Рис. 5. Результаты замеров плотности почвы после прохода исследуемых катков

Исследования структуры почвы показало, что прикатывание планчато-волновым катком обеспечивает её необходимые показатели на всех участках поля. У серийного катка структура почвы после обработки не соответствует агротехническим требованиям, поскольку у него расстояние между планками в 2,2 раза превышает максимально допустимый размер почвенного комка. Рисунок 6 явно указывает на то, что у планчато-волнового катка фракционный состав почвы больше приближен к эталонным значениям, что также подтверждается рисунком 7, на котором представлены данные, выраженные в процентах, по соответствию и несоответствию структуры почвы агротехническим требованиям [11-13].

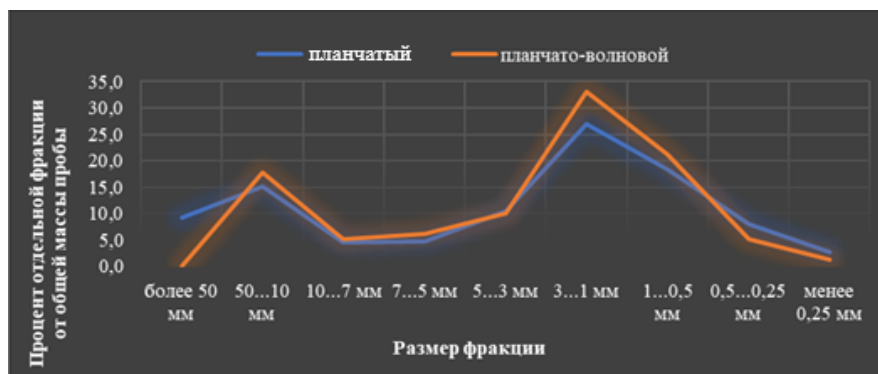


Рис. 6. Фракционный состав почвы после прохода исследуемых катков



Рис. 7. Процент соответствия структуры почвы агротехническим требованиям после ее прикатывания

### Обсуждение

В результате анализа экспериментальных данных установлено, что при обработке почвы предлагаемым планчато-волновым катком критерий оптимизации  $k_{сз}$  достигает значения 0,94. При таком показателе, как плотностные характеристики, так и агрегатный состав почвы на исследуемых участках полностью соответствуют предъявляемым агротребованиям [14-17].

На участках поля, обработанных планчатым катком, критерий оптимизации составил лишь  $k_{сз} = 0,686$ , что существенно ниже показателя, полученного при использовании катка усовершенствованной конструкции. Кроме того, на поверхности почвы были обнаружены почвенные агрегаты размером свыше 50 мм, что не удовлетворяет установленным агротехническим требованиям к качеству прикатывания [18-20].

За счет качественного прикатывания посевов ячменя предлагаемым планчато-волновым катком его урожайность повысилась на 2,4 ц/га, достигнув 23,6 ц/га, а относительный прирост урожайности составил 11,3% в сравнении с планчатым катком серийного производства.

### Заключение

Выполненные производственные исследования планчато-волнового катка наглядно демонстрируют, что при его использовании обеспечивается высокое качество предпосевной обработки почвы, соответствующее агротехническим требованиям. При влажности почвы в диапазоне от 19% до 22% гребнистость

обработанной поверхности не превышает  $\pm 0,064$  м, плотность почвы находится в оптимальных пределах, а агрегатный состав почвы имеет фракции, приближенные к эталонным значениям. Это свидетельствует о преимуществе разработанного катка над серийным планчатым катком.

Планчато-волновой каток эффективно измельчает комки и выравнивает поверхность поля после прохода культиватора «Твист-8», что положительно сказывается на структуре почвы и плотности. Критерий оптимизации  $k_{сз}$  для планчато-волнового катка составил 0,94, что значительно выше, чем у планчатого катка ( $k_{сз} = 0,686$ ) культиватора. Это указывает на более высокое качество обработки почвы катком предлагаемой конструкции. Благодаря этому урожайность ячменя повысилась на 11,3% в сравнении с участками поля, обработанными аналогичным культиватором, оснащенным планчатым катком серийного производства.

### Литература

1. Леденев В. В., Однолько В. Г., Нгуен З. Х. Теоретические основы механики деформирования и разрушения: монография. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. 312 с. ISBN 978-5-8265-1208-1.
2. Кленин Н. И., Сакун В. А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины М.: Колос. 1994. 751 с.
3. Обоснование рациональных параметров прикатывающего катка комбинированного сошника при посеве зерновых культур / Д. Н. Раднаев, С. С.

Калашников, Д. Ц. Б. Бадмацыренов и др. // Дальневосточный аграрный вестник. 2022. № 2 (62). С. 158-167. doi: 10.22450/19996837\_2022\_2\_158

4. Семенихина Ю. А. Исследование вязкоупругого состояния почвы под воздействием активной поверхности почвообрабатывающего катка // Тракторы и сельхозмашины. 2017. № 7. С. 32-36. doi: 10.17816/0321-4443-66333

5. Кузьминых А. Н. Система предпосевной обработки почвы и урожайность ярового ячменя // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2020. Т. 6. № 1 (21). С. 32-39. doi: 10.30914/2411-9687-2020-6-1-32-38

6. Петров М. В. Изменение агрофизических свойств почвы в зависимости от основной обработки почвы в различных типах агроландшафта Ульяновской области // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Сельскохозяйственные науки. 2022. Т. 1. № 2 (2). С. 67-70. doi: 10.37313/2782-6562-2022-1-2-67-70

7. Оценка состояния водно-физических свойств на участках с различными системами обработки почвы / С. А. Линков, А. В. Ширяев, А. В. Акинчин и др. // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2023. № 4 (40). С. 117-124.

8. Патент № 149 064 U1 Российская Федерация, МПК G01N 33/24 (2006.01) Устройство для определения плотности почвы / В. И. Курдюмов, Е. С. Зыкин, И. А. Шаронов, В. В. Курушин, В. Е. Прошкин, А. С. Егоров патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. № 2014130351/15; заявл. 22.07.2014; опубл. 20.12.2014, Бюл. № 35.

9. Использование мульчирующих катков в конструкции комбинированных почвообрабатывающих агрегатов / С. И. Камбулов, Г. Г. Пархоменко, Ю. А. Семенихина и др. // Таврический вестник аграрной науки. 2020. № 3 (23). С. 113-121. doi: 10.33952/2542-0720-2020-3-23-113-121

10. Петровец В. Р., Гайдуков В. А. Влияние прикапывающих катков сошников на плотность почвы семенного ложа // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. 2022. № 1 (21). С. 5-9.

11. Исследования пружинно-волнового катка в полевых условиях / В. Е. Прошкин, В. И. Курдюмов, Е. Н. Прошкин и др. // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 3 (63). С. 224-229. doi: 10.18286/1816-4501-2023-3-224-229

12. Анализ результатов полевых исследований пружинно-волнового катка / В. Е. Прошкин, В. И. Курдюмов, Е. Н. Прошкин и др. // Тракторы и сельхозмашины. 2023. Т. 90. № 5. С. 405-412. doi: 10.17816/0321-4443-567933

13. Результаты полевых исследований прутково-дискового катка / В. Е. Прошкин, В. И. Курдюмов, И. А. Шаронов и др. // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023. № 4

(64). С. 229-234. doi: 10.18286/1816-4501-2023-4-229-234

14. Обоснование параметров модернизированного планчатого почворежущего катка комбинированного агрегата / И. В. Соболевский, В. А. Куклин, И. И. Калафатов и др. // Таврический вестник аграрной науки. 2024. № 1 (37). С. 149-157. doi: 10.5281/zenodo.10930842

15. Рыжков А. В., Мачкарин А. В. Каток-измельчитель растительных остатков // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2023. № 1 (37). С. 32-40.

16. Соболевский И. В., Куклин В. А., Калафатов И. И. Обоснование конструктивных параметров и расположения рабочих органов агрегата почвообрабатывающего комбинированного // Таврический вестник аграрной науки. 2023. № 2 (34). С. 102-109. doi: 10.5281/zenodo.8272005

17. Шапарь М. С., Шишлов А. Н., Шишлов С. А. Виброкаток для предпосевного прикапывания // Сельский механизатор. 2021. № 9. С. 18-19. doi: 10.24411/1999-6837-2020-11013

18. Шишлов С. А., Шишлов А. Н., Шапарь М. С. Предпосевная подготовка почвы под сою виброкатком в условиях Приморского края // Аграрный вестник Приморья. 2017. № 3 (7). С. 57-59. doi: 10.24411/1999-6837-2020-11013

19. Экспериментальные исследования универсального катка-гребнеобразователя / В. И. Курдюмов, Е. С. Зыкин, И. А. Шаронов и др. // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2011. № 4 (16). С. 107-112.

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

## References

1. Ledenev V. V., Odnolko V. G., Nguyen Z. H. Theoretical foundations of deformation and fracture mechanics: Monograph. Tambov: Publishing House of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education "TSTU", 2013. 312 p. ISBN 978-5-8265-1208-1.

2. Klenin N. I., Sakun V. A. Agricultural and melioration machines Moscow: Kolos. 1994. 751 p.

3. Justification of rational parameters of the packing roller of a combined coulter when sowing grain crops / D. N. Radnaev, S. S. Kalashnikov, D. Ts. B. Badmatyrenov, et al. // Far Eastern Agrarian Vestnik. 2022. No. 2 (62). P. 158-167. doi: 10.22450/19996837\_2022\_2\_158

4. Semikhina Yu. A. Study of the viscoelastic state of the soil under the influence of the active surface of a tillage roller // Tractors and agricultural machinery. 2017. No. 7. P. 32-36. doi: 10.17816/0321-4443-66333

5. Kuzminykh A. N. Pre-sowing tillage system and spring barley yield // Vestnik of the Mari State University. Series: Agricultural sciences. Economic sciences. 2020.

Vol. 6. No. 1 (21). P. 32-39. doi: 10.30914/2411-9687-2020-6-1-32-38

6. Petrov M. V. Changes in soil agrophysical properties depending on primary tillage in different types of agricultural landscapes of Ulyanovsk region // Vestnik of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Agricultural sciences. 2022. Vol. 1. No. 2 (2). P. 67-70. doi: 10.37313/2782-6562-2022-1-2-67-70

7. Assessment of the state of water-physical properties in areas with different tillage systems / S. A. Linkov, A. V. Shiryaev, A. V. Akinchin, et al. // Innovations in the agro-industrial complex: problems and prospects. 2023. No. 4 (40). P. 117-124.

8. Patent No. 149 064 U1 Russian Federation, IPC G01N 33/24 (2006.01) Device for determining soil density / V. I. Kurdyumov, E. S. Zykin, I. A. Sharonov, V. V. Kurushin, V. Ye. Proshkin, A. S. Egorov patent holder FSBEI HE Ulyanovsk State Agricultural University. No. 2014130351/15; applied 22.07.2014; published 20.12.2014, Bull. No. 35.

9. Use of mulching rollers in the design of combined tillage units / S. I. Kambulov, G. G. Parkhomenko, Yu. A. Semenikhina, et al. // Tavrichesky Vestnik of Agrarian Science. 2020. No. 3 (23). P. 113-121. doi: 10.33952/2542-0720-2020-3-23-113-121

10. Petrovets V. R., Gaidukov V. A. Influence of coulter press rollers on the soil density of the seedbed // Design, use and reliability of agricultural machinery. 2022. No. 1 (21). P. 5-9.

11. Field Research of a Spring-Wave Roller / V. E. Proshkin, V. I. Kurdyumov, E. N. Proshkin, et al. // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2023. No. 3 (63). P. 224-229. doi: 10.18286/1816-4501-2023-3-224-229

12. Analysis of the results of field research of a spring-wave roller / V. E. Proshkin, V. I. Kurdyumov, E. N. Proshkin, et al. // Tractors and agricultural machinery.

2023. Vol. 90. No. 5. P. 405-412. doi: 10.17816/0321-4443-567933

13. Results of field studies of a rod-disc roller / V. E. Proshkin, V. I. Kurdyumov, I. A. Sharonov, et al. // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2023. No. 4 (64). P. 229-234. doi: 10.18286/1816-4501-2023-4-229-234

14. Justification of the parameters of the modernized slatted soil-cutting roller of the combined unit / I. V. Sobolevsky, V. A. Kuklin, I. I. Kalafatov, et al. // Tavricheskiy Vestnik of Agrarian Science. 2024. No. 1 (37). P. 149-157. doi: 10.5281/zenodo.10930842

15. Ryzhkov A. V., Machkarin A. V. Roller-crusher of plant residues // Innovations in the agro-industrial complex: problems and prospects. 2023. No. 1 (37). P. 32-40.

16. Sobolevsky I. V., Kuklin V. A., Kalafatov I. I. Justification of the design parameters and arrangement of the working bodies of a combined tillage unit // Tavricheskiy Vestnik of Agrarian Science. 2023. No. 2 (34). P. 102-109. doi: 10.5281/zenodo.8272005

17. Shapar M. S., Shishlov A. N., Shishlov S. A. Vibratory roller for pre-sowing rolling // Rural mechanic. 2021. No. 9. P. 18-19. doi: 10.24411/1999-6837-2020-11013

18. Shishlov S. A., Shishlov A. N., Shapar M. S. Pre-sowing preparation of soil for soybeans with a vibratory roller in the conditions of Primorsky Krai // Agrarian Vestnik of Primorye. 2017. No. 3 (7). P. 57-59. doi: 10.24411/1999-6837-2020-11013

19. Experimental studies of a universal ridge former roller / V. I. Kurdyumov, E. S. Zykin, I. A. Sharonov et al. // Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2011. No. 4 (16). P. 107-112.

20. Improvement of the parameters of a soil-cultivating roller based on the results of field studies / V. E. Proshkin, V. I. Kurdyumov, R. V. Bogatsky et al. // Tractors and agricultural machinery. 2024. Vol. 91. No. 6. P. 793-800. doi: 10.17816/0321-4443-631576