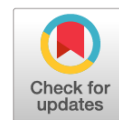


DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-568649>

Оригинальное исследование



Агротехнические показатели работы асимметричного рабочего органа парового культиватора

Г.Г. Пархоменко¹, Д.С. Подлесный^{1, 2}, С.И. Камбулов^{1, 2}, И.В. Божко¹, С.В. Белоусов^{1, 3}¹ Аграрный научный центр «Донской», зерноград, Российская Федерация;² Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация;³ Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина, Краснодар, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Важным для производства продукции сельского хозяйства является получение устойчивых и качественных урожаев. Известно, что при возделывании сельскохозяйственных культур до 40–45% всех энергетических затрат приходится на подготовку почвы к посеву. Тонким технологическим процессом является поверхностная — паровая обработка почвы, именно от нее зависит нормальное распределение посевного материала по глубине и, как следствие, дальнейшая равномерность всходов. Для обеспечения протекания процесса предпосевной подготовки почвы к посеву, в «Аграрном научном центре «Донской», в структурном подразделении «СКНИИМЭСХ», г. Зерноград, был разработан новый асимметричный рабочий орган для парового культиватора. Перед нами стоит задача провести сравнительный анализ работы нового рабочего органа с серийными стрельчатными лапами при подготовке почвы к посеву.

Цель работы — проведение сравнительного анализа работы серийной стрельчатой лапы с предлагаемым новым асимметричным рабочим органом парового культиватора путем полевых исследований на полях «АНЦ «Донской».

Методы. Исследования на полях АНЦ «Донской» проводили согласно межгосударственного стандарта ГОСТ-33687-2015 «Машины и орудия для поверхностной обработки почвы». Для обработки данных применялись известные статистические методы экстраполяции, реализованные в среде Microsoft Excel.

Результаты. Определены оптимальные режимные параметры работы предложенного нового асимметричного рабочего органа в сравнении с серийным рабочим органом парового культиватора.

Заключение. Согласно проведенным лабораторно-полевым исследованиям, получили параметры и режимы работы нового асимметричного рабочего органа.

Ключевые слова: паровой культиватор; рабочий орган; качество крошения; почва; сельское хозяйство; ширина захвата; агротехнические требования.

Как цитировать: Пархоменко Г.Г., Подлесный Д.С., Камбулов С.И., Божко И.В., Белоусов С.В. Агротехнические показатели работы асимметричного рабочего органа парового культиватора // Тракторы и сельхозмашины. 2024. Т. 91, № 1. С. 123–132. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-568649>

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-568649>

Original Study Article

Agrotechnical performance indicators of the asymmetric working body of a fallow cultivator

Galina G. Parkhomenko¹, Dmitry S. Podlesny^{1, 2}, Sergey I. Kambulov^{1, 2},
Igor V. Bozhko¹, Sergey V. Belousov^{1, 3}

¹ "Donskoy" Agrarian Scientific Center, Zernograd, Russian Federation;

² Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation;

³ Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Obtaining sustainable and high-quality harvest is important for the production of agricultural products. It is known that up to 40–45% of all energy costs are spent on preparing the soil for sowing when cultivating agricultural crops. Surface-fallow tillage is a subtle technological process, it influences on normal distribution of the seed material in depth and, as a consequence, the further uniformity of seedlings. To ensure the process flow of pre-sowing preparation of the soil for sowing, a new asymmetric working body for a fallow cultivator was developed in the Donskoy Agrarian Scientific Center, the structural subdivision of the SKNIIMESKh, Zernograd. There is a task to conduct a comparative analysis of operation of the new working body with V-shaped sweeps when preparing the soil for sowing.

AIM: Conducting a comparative analysis of operation of a serial V-shaped sweep with the new proposed asymmetric working body of a fallow cultivator by field research in the fields of the Donskoy ANC.

METHODS: The research in the fields of Donskoy ANC was conducted according to the GOST 33687-2015 "Machines and tools for surface tillage" regional standard. Well-known statistical extrapolation methods implemented in the Microsoft Excel environment were used for data processing.

RESULTS: The optimal operating parameters of the new proposed asymmetric working body have been determined in comparison with the serial working body of a fallow cultivator.

CONCLUSIONS: According to the conducted laboratory and field studies, the parameters and operating modes of the new asymmetric working body were obtained.

Keywords: fallow cultivator; working body; crumbling quality; soil; agriculture; working width; agrotechnical requirements.

To cite this article:

Parkhomenko GG, Podlesny DS, Kambulov SI, Bozhko IV, Belousov SV. Agrotechnical performance indicators of the asymmetric working body of a fallow cultivator. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2024;91(1):123–132. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-568649>

Received: 23.08.2023

Accepted: 10.10.2023

Published online: 15.03.2024

ВВЕДЕНИЕ

Высокий уровень техники нового поколения характеризуется высокой производительностью агрегата при выполнении агротехнических требований, предъявляемых к конкретному способу обработки почвы [1–12].

В ФГБНУ АНЦ «Донской» в отделе механизации растениеводства разработана конструкция нового асимметричного рабочего органа парового культиватора. Новый рабочий орган состоит из стойки с долотом и последовательно установленных на ней лево- и правосторонних плоскорезов (рис. 1).



Рис. 1. Новый асимметричный рабочий орган парового культиватора.

Fig. 1. New asymmetric working body of a fallow cultivator.

Основными требованиями к качеству крошения почвы, обработанной рабочими органами парового культиватора, являются: обеспечение мелкокомковатой структуры и равномерность глубины рыхления.

При выполнении данных требований обработанный участок поля выровнен, с высотой гребней и глубиной борозд не превышающими допускаемых агротехническими требованиями значений.

Цель исследования — проведение сравнительного анализа работы серийной стрельчатой лапы с предлагаемым новым асимметричным рабочим органом парового культиватора путем полевых исследований на полях «АНЦ «Донской».

МЕТОДЫ

Исследования на полях АНЦ Донской проводили согласно межгосударственного стандарта ГОСТ-33687-2015 «Машины и орудия для поверхностной обработки почвы».

Измерения глубины обработки выполняют по следу прохода стойки нового асимметричного рабочего органа парового культиватора и стандартной стрельчатой лапы, погружая линейку в почву до необработанного слоя.

Количество измерений $n_{\text{аэоаэи}}^{\text{т}}$ по каждому учётному проходу должно составлять 25 для обработки почвы новым рабочим органом парового культиватора и стандартной стрельчатой лапой. Для определения устойчивости хода данные измерений (текущие показатели глубины a_i) обрабатывают статистическим методом с получением среднего арифметического значения глубины $a_{\text{нб}}$, стандартного отклонения $\sigma_{\text{аэоаэи}}^{\text{т}}$ и коэффициента вариации $v_{\text{аэоаэи}}^{\text{т}}$.

$$\sigma_{\text{аэоаэи}}^{\text{т}} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_{\text{аэоаэи}}^{\text{т}}} (a_i - a_{\text{нб}})^2}{n_{\text{аэоаэи}}^{\text{т}} - 1}},$$

$$v_{\text{аэоаэи}}^{\text{т}} = \pm \frac{\sigma_{\text{аэоаэи}}^{\text{т}}}{a_{\text{нб}}} \cdot 100\% \quad (1)$$

Гребнистость характеризует среднюю высоту неровностей на поверхности поля после обработки почвы новым рабочим органом парового культиватора в сравнении со стандартной стрельчатой лапой.

Высоту неровностей измеряют с помощью рейки и линейки в 4 местах в прямом и обратном направлении движения рабочих органов.

После прохода нового рабочего органа парового культиватора и стандартной стрельчатой лапы по ширине захвата накладывают рейку на вершину неровностей в местах, выбранных случайным образом.

Перпендикулярно к рейке прикладывают линейку для измерения высоты неровностей на поверхности поля. Количество измерений в каждой точке не менее 10.

Качество крошения почвы (наличие комков в обработанном слое размером менее 25 мм) определялось после прохода нового асимметричного рабочего органа парового культиватора и стандартной стрельчатой лапы.

Поскольку ширина захвата стандартной стрельчатой лапы менее размера палетки (0,5×0,5 м), разделённой на квадраты 25×25 мм, накладываемой на обработанный слой для количественного учёта комков, превышающих размер 25 мм, качество крошения обоих рабочих органов определялось весовым способом, посредством выемки пробы обработанной почвы и взвешивание отдельных фракций (рис. 2).

Качество крошения почвы определялось по пробам, отбираемым в 4 точках при 3 повторениях в прямом и обратном направлении движения с разборкой в лабораторных условиях фракций вручную для выделения комков размером более 25 мм с последующим их взвешиванием (рис. 3).

В процентном соотношении к общей массе пробы m_{Σ} определяется масса выделенных комков $m_{>25 \text{ и}}$ по формуле:

$$m_{<25 \text{ и}} = 100 - \frac{m_{>25 \text{ и}}}{m_{\Sigma}} \cdot 100\% \quad (2)$$



Рис. 2. Отбор и взвешивание комков, размер которых превышает 25 см.
Fig. 2. Selection and weighing of lumps larger than 25 cm.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты проведенных лабораторно полевых исследований и обработки полученных данных представлены в таблицах 1, 2.

Допускаемое отклонение от заданной глубины обработки почвы новым рабочим органом парового культиватора и стандартной стрелчатой лапой составляет ± 2 см.

Полученные данные (таблица 1 и таблица 2) объединены в таблицу 3 для сравнительной оценки устойчивости глубины хода нового рабочего органа парового культиватора и стандартной стрелчатой лапы.

Анализ полученных данных (таблица 3) показывает, что новый рабочий орган парового культиватора соответствует агротехническим требованиям по устойчивости глубины хода во всем скоростном диапазоне, поскольку среднеквадратическое отклонение данного показателя составляет $\pm 0,71-0,89$ см, что не превышает допускаемого (± 2 см). Стандартная стрелчатая лапа соответствует агротехническим требованиям по устойчивости глубины хода только при скорости движения до 10,5 км/ч включительно (среднеквадратическое отклонение $\pm 0,84-2,0$ см), а при 13,0 км/ч – не соответствует, поскольку требуемый показатель ($\pm 2,1$ см) превышает допускаемое значение (± 2 см). Коэффициент вариации 15,21 и 23,30% при обработке почвы стандартной стрелчатой лапой при скорости движения 10,5 и 13,0 км/ч соответственно свидетельствует о чрезмерном разбросе относительно среднего значения глубины при заданной 8 см.

Это является подтверждением неустойчивости глубины хода стандартной стрелчатой лапы при функционировании на данных режимах и непригодности данного рабочего органа для высокоскоростной почвообрабатывающей техники.

Неравномерность глубины хода рабочих органов влияет на выровненность поверхности поля после обработки почвы.



Рис. 3. Взвешивание общей пробы почвы.
Fig. 3 Weighing of the full soil sample.

Полученные данные по гребнистости приведены в таблице 4.

После прохода нового асимметричного рабочего органа парового культиватора и стандартной стрелчатой лапы гребнистость поверхности поля должна составлять не более 4 см.

Новый асимметричный рабочий орган парового культиватора соответствует агротехническим требованиям по гребнистости поверхности поля после обработки почвы (2,1–2,7 см) и изменяется незначительно (на 4%) с повышением скорости движения.

При этом наибольшая гребнистость поверхности поля (в среднем 2,5 см), не превышающая допускаемую (до 4 см), наблюдается при средней скорости движения (10,5 км/ч), а затем снижается до 2,4 см при её возрастании до 13,0 км/ч.

Неравномерность глубины обработки почвы вследствие неустойчивости глубины хода стандартной стрелчатой лапы при скорости движения 13,0 км/ч явилась

Таблица 1. Результаты исследования устойчивости хода нового асимметричного рабочего органа парового культиватора при глубине обработки почвы 8 см

Table 1. The results of the study of motion stability of the new asymmetric working body of a fallow cultivator at a tillage depth of 8 cm

Наименование показателя	Значение показателя, % при скорости движения, км/ч		
	8,0	10,5	13,0
Глубина в среднем, см	9,0	8,6	8,4
Среднеквадратическое отклонение глубины, ±см	0,71	0,89	0,89
Коэффициент вариации глубины, %	7,86	10,40	10,65

Таблица 2. Результаты исследования устойчивости хода стандартной стрелчатой лапы при глубине обработки почвы 8 см

Table 2. Results of the study of motion stability of a standard V-shaped sweep at a tillage depth of 8 cm

Наименование показателя	Значение показателя, % при скорости движения, км/ч		
	8,0	10,5	13,0
Глубина в среднем, см	8,8	9,2	9,0
Среднеквадратическое отклонение глубины, ±см	0,84	2,0	2,10
Коэффициент вариации глубины, %	9,55	15,21	23,30

Таблица 3. Результаты сравнения устойчивости хода нового асимметричного рабочего органа парового культиватора и стандартной стрелчатой лапы при глубине обработки почвы 8 см

Table 3. The results of comparison of motion stability of a new asymmetric working body of a fallow cultivator and the standard V-shaped sweep at a tillage depth of 8 cm

Наименование рабочего органа	Среднеквадратическое отклонение глубины, ±см	Коэффициент вариации глубины, %
Новый асимметричный рабочий орган парового культиватора	0,71–0,89	7,96–10,65
Стандартная стрелчатая лапа	0,84–2,10	9,55–23,30

Таблица 4. Результаты исследования гребнистости поверхности поля после обработки почвы рабочими органами на глубину 8 см

Table 4. Results of the study of ridgeness of field surface after tillage by working bodies to a depth of 8 cm

Наименование рабочего органа	Значение показателя, см при скорости движения, км/ч		
	8,0	10,5	13,0
Новый асимметричный рабочий орган парового культиватора	2,3	2,2	2,4
	2,3	2,4	2,2
	2,6	2,5	2,3
	2,1	2,7	2,6
В среднем	2,3	2,5	2,4
Стандартная стрелчатая лапа	3,6	3,4	3,9
	3,5	3,4	4,1
	3,5	3,3	4,3
	3,2	3,6	4,2
	В среднем	3,5	3,4

причиной повышенной гребнистости (3,9–4,2 см), которая не соответствует агротехническим требованиям к данному показателю (до 4 см).

При скорости 8,0 и 10,5 км/ч гребнистость после прохода стандартной стрелчатой лапы составила 3,2–3,6 и 3,3–3,6 см соответственно, что в среднем в 1,4–1,5 раза выше, чем у нового рабочего органа парового культиватора, но не противоречит агротехническим требованиям в части выровненности поверхности поля.

Результаты исследования качества крошения и фон после обработки почвы рабочими органами представлены в таблице 5 и на рис. 4.

Анализ полученных данных (таблица 5) показывает, что оба рабочих органа выполняют агротехнические требования по качеству крошения при глубине культивации 8 см, поскольку после прохода в обработанном слое почвы комков размером менее 25 мм содержится 85,7–93,4%.

Новый асимметричный рабочий орган парового культиватора с увеличением скорости движения с 8,0 до 13,0 км/ч обеспечивает повышение качества крошения почвы с 88,7 до 93,4% соответственно.

При функционировании стандартной стрелчатой лапы качество крошения почвы находится на одном

Таблица 5. Результаты исследования качества крошения почвы новым асимметричным рабочим органом парового культиватора (глубина 8 см)

Table 5. Results of study of quality of soil crumbling by a new asymmetric working body of a fallow cultivator (depth 8 cm)

Наименование рабочего органа	Значение показателя Комков размером менее 25 мм, %			Допускаемое по агротехническим требованиям
	Фактическое движение при скорости движения, км/ч			
	8,0	10,5	13,0	
Новый асимметричный рабочий орган парового культиватора	88,9	91,3	93,2	Не менее 80
	89,3	92,1	92,5	
	89,5	91,8	92,9	
	88,7	92,0	93,4	
В среднем	89,1	91,8	93,0	
Стандартная стрелчатая лапа	86,0	87,4	85,9	
	86,8	86,5	85,7	
	86,7	87,7	86,6	
	86,9	86,7	87,0	
В среднем	86,6	87,1	86,3	

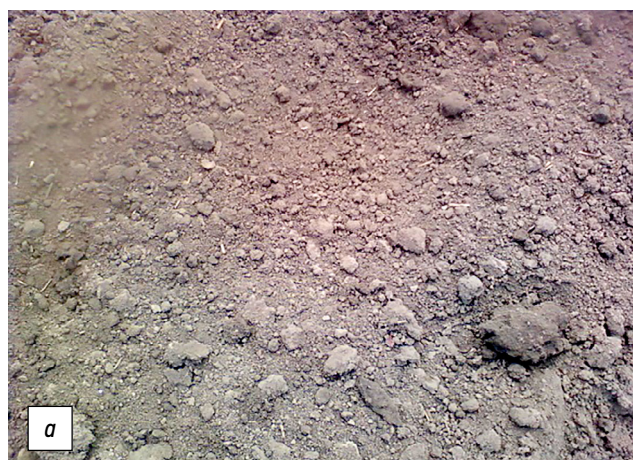


Рис. 4. Фон после обработки почвы рабочими органами: *a* — новый асимметричный рабочий орган парового культиватора; *b* — стандартная стрелчатая лапа.

Fig. 4. Ground after tillage by working bodies: *a* — the new asymmetric working body of a fallow cultivator; *b* — the standard V-shaped sweep.

уровне: 85,7–87,7% комков размером менее 25 мм в обработанном слое.

Следует отметить, что на наиболее эффективном, с позиции повышения производительности, режиме функционирования (при скорости 13,0 км/ч) стандартная стрелчатая лапа обеспечивает наихудшее качество крошения (в среднем 86,3%), а новый рабочий орган парового культиватора, напротив, наилучшее (в среднем 93,0%).

В целом новый асимметричный рабочий орган парового культиватора обеспечивает улучшение качество крошения по наличию комков размером менее 25 мм в обработанном слое почвы по сравнению со стандартной стрелчатой лапой на 2,2–7,3% в среднем.

Улучшение качества крошения новым рабочим органом парового культиватора объясняется возникновением с увеличением скорости движения ударного взаимодействия пласта с долотом, которое формирует опережающую трещину в продольном направлении (рис. 5), а плоскорезные рыхлители производят разрезание в поперечном направлении отделённого массива почвы (рис. 6).

При этом, чем выше скорость движения, тем дальше распространяется фронт трещины, что сопровождается большей интенсивностью крошения почвы новым асимметричным рабочим органом парового культиватора.

Это объясняется тесной взаимосвязью количества энергии, требуемой для крошения почвы с энергией образовавшейся трещины, прямо пропорциональной поверхностному натяжению комка.

Процесс крошения почвы обусловлен наличием внутри пласта заземлённого воздуха, который высвобождается при нарушении равновесия внешних сил от подпора со стороны необработанного массива и от воздействия рабочего органа. Вместе с тем, при поверхностной глубине обработки почвы внешние силы со стороны рабочего органа, воздействующего на пласт, не могут быть уравновешены и переходят в деформации сжатия, растяжения

и сдвига, что сопровождается крошением на отдельные комки при потере связи между ними.

Крошение почвы новым асимметричным рабочим органом парового культиватора сопровождается увеличением объёма почвы, которое возникает при деформировании по нормали к поверхностям разрушающих сдвиговых деформаций. Увеличение объёма почвы обусловлено более рыхлой укладкой образовавшихся комков.

Стандартная стрелчатая лапа не содержит долото, ударного взаимодействия с пластом не возникает при её функционировании на повышенной скорости движения.

Кроме того, массив почвы под воздействием деформаций сжатия и сдвига, возникающих ввиду конфигурации рабочей поверхности стандартной стрелчатой лапы, подвергается крошению в течение некоторого времени, которое определяется длительностью взаимодействия с почвой, уменьшающегося с ростом скорости движения.

Поэтому, чем выше скорость движения стандартной стрелчатой лапы, тем меньше времени почва подвергается крошению, что сопровождается снижением его качества.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Процесс работы нового асимметричного рабочего органа парового культиватора соответствует агротехническим требованиям по устойчивости глубины хода во всём скоростном диапазоне, поскольку среднеквадратическое отклонение данного показателя составляет $\pm 0,71-0,89$ см, что не превышает допустимого (± 2 см). Стандартная стрелчатая лапа соответствует агротехническим требованиям по устойчивости глубины хода только при скорости движения до 10,5 км/ч включительно (среднеквадратическое отклонение $\pm 0,84-2,0$ см), а при 13,0 км/ч — не соответствует, поскольку требуемый показатель ($\pm 2,1$ см) превышает допустимое значение (± 2 см).



Рис. 5. Формирование опережающей трещины долотом нового рабочего органа парового культиватора.

Fig. 5. Formation of a leading crack with a chisel of the new asymmetric working body of a fallow cultivator.



Рис. 6. Крошение почвы плоскорезными рыхлителями нового асимметричного рабочего органа парового культиватора.

Fig. 6. Soil crumbling with flat-cut rippers of the new asymmetric working body of a fallow cultivator.

Коэффициент вариации 15,21 и 23,30% при обработке почвы стандартной стрельчатой лапой при скорости движения 10,5 и 13,0 км/ч соответственно свидетельствует о чрезмерном разбросе относительно среднего значения глубины при заданной 8 см. Последнее обстоятельство является подтверждением неустойчивости глубины хода стандартной стрельчатой лапы при функционировании на данных режимах и непригодности данного рабочего органа для высокоскоростной почвообрабатывающей техники.

Неравномерность глубины обработки почвы вследствие неустойчивости глубины хода стандартной стрельчатой лапы при скорости движения 13,0 км/ч явилась причиной повышенной гребнистости (3,9–4,2 см), которая не соответствует агротехническим требованиям к данному показателю (до 4 см). При скорости 8,0 и 10,5 км/ч гребнистость после прохода стандартной стрельчатой лапы составила 3,2–3,6 и 3,3–3,6 см соответственно, что в среднем в 1,4–1,5 раза выше, чем у нового рабочего органа парового культиватора, но не противоречит агротехническим требованиям в части выровненности поверхности поля.

Новый асимметричный рабочий орган парового культиватора с увеличением скорости движения с 8,0 до 13,0 км/ч обеспечивает повышение качества крошения почвы с 88,7 до 93,4% соответственно. При функционировании стандартной стрельчатой лапы качество крошения почвы находится на одном уровне: 85,7–87,7% комков размером менее 25 мм в обработанном слое. На наиболее эффективном, с позиции повышения производительности, режиме функционирования (при скорости 13,0 км/ч) стандартная стрельчатая лапа обеспечивает наихудшее качество крошения (в среднем 86,3%), а новый асимметричный рабочий орган парового культиватора, напротив, наилучшее (в среднем 93,0%). Новый асимметричный рабочий орган парового культиватора обеспечивает улучшение качества крошения по наличию комков размером менее 25 мм в обработанном слое почвы по сравнению со стандартной стрельчатой лапой на 2,2–7,3% в среднем.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. С.И. Камбулов — руководство исследованием, концептуализация, методология, администрирование

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sándor Zs., Tállai M., Kincses I., et al. Effect of various soil cultivation methods on some microbial soil properties // DRC Sustainable Future. 2020. Vol. 1, N. 1. P. 14–20. doi: 10.37281/DRCSF/1.1.3
2. Пархоменко Г.Г., Пархоменко С.Г. Экологически безопасная эксплуатация технических средств в условиях физической деградации почвы // Технический сервис машин. 2019. № 2(135). С. 40–46. EDN: WSZBHC
3. Couvreur V., Vanderborght J., Draye X., et al. Dynamic aspects of soil water availability for isohydric plants: Focus on root hydrau-

projecta; Г.Г. Пархоменко — формальный анализ, проведение исследования, создание черновика рукописи, визуализация; Д.С. Подлесный — формальный анализ, проведение исследования, создание черновика рукописи, визуализация; И.В. Божко — проведение исследования, создание черновика рукописи; С.В. Белоусов — формальный анализ, проведение исследования, создание черновика рукописи, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование. 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 проведенным исследованием и публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и подготовке публикации.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. S.I. Kambulov — research management, conceptualization, methodology, project administration; G.G. Parkhomenko — formal analysis, conducting research, writing the draft of the manuscript, visualization; D.S. Podlesny — formal analysis, conducting research, writing the draft of the manuscript, visualization; I.V. Bozhko — conducting research, writing the draft of the manuscript; S.V. Belousov — formal analysis, conducting research, writing the draft of the manuscript, writing and editing the final version of the manuscript. 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.

lic resistances // Water Resources Research. 2014. Vol. 50, N. 11. P. 8891–8906. doi: 10.1002/2014WR015608

4. Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Метод структурного моделирования систем автоматического регулирования

эксплуатационных режимов работы почвообрабатывающих агрегатов // Труды ГОСНИТИ. 2017. Т. 126. С. 55–61. EDN: YLPRPR

5. Bluett C., Tullberg J.N., McPhee J.E., et al. Soil and Tillage Research: Why still focus on soil compaction? // Journal of CO₂ Utilization. 2019. Vol. 33. P. 201–214. doi: 10.1016/j.still.2019.05.028

6. Пархоменко Г.Г., Пархоменко С.Г. Снижение уплотнения почвы при производстве зерна // *Хранение и переработка зерна*. 2017. № 2(210). P. 20–24. EDN: QZWYWZ
7. Colombiabc T., Torresd L.C., Walterc A., et al. Feedbacks between soil penetration resistance, root architecture and water uptake limit water accessibility and crop growth – a vicious circle // *Science of The Total Environment*. 2018. Vol. 626, N. 1. P. 1026–1035. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.01.129
8. Geng Niu, Longtan Shao, De'an Sun, et al. A simplified directly determination of soil-water retention curve from pore size distribution // *Geomechanics and Engineering*. 2020. Vol. 20, N. 5. P. 411–420 doi: 10.12989/gae.2020.20.5.411
9. Пархоменко Г.Г., Пархоменко С.Г. Теоретическое исследование механизмов перемещения рабочих органов для обработки почвы // В сборнике: *Интеллектуальные машинные*

- технологии и техника для реализации государственной программы развития сельского хозяйства Сборник научных докладов Международной научно-технической конференции. Ч. 1. М.: ФНАЦ ВИМ, 2015. С. 210–214. EDN: UFOINT
10. Chappell A., Webb N.P. Using albedo to reform wind erosion modelling, mapping and Monitoring // *Aeolian Research*. 2016. Vol. 23. P. 63–78. doi: 10.1016/j.aeolia.2016.09.006
11. Belousov S.V., Pomelyayko S.A., Novikov V.V. Design of the universal agricultural working body and study of its parameters // *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 224. P. 05006. EDN FZUDHT doi: 10.1051/mateconf/201822405006
12. Рыков В.Б., Камбулов С.И., Шевченко Н.В., и др. Методические подходы к обоснованию базовых параметров перспективных машинно-технологических агрегатов. Краснодар: КубГАУ им. И.Т. Трубилина, 2022. EDN KUZKJL

REFERENCES

1. Sándor Zs, Tállai M, Kincses I, et al. Effect of various soil cultivation methods on some microbial soil properties. *DRC Sustainable Future*. 2020;1(1):14–20. doi: 10.37281/DRCSF/1.1.3
2. Parkhomenko GG, Parkhomenko SG. Environmentally safe operation of technical means in conditions of physical soil degradation. *Tekhnicheskij servis mashin*. 2019;2(135):40–46. (In Russ). EDN: WSZBHC
3. Couvreur V, Vanderborght J, Draye X, et al. Dynamic aspects of soil water availability for isohydric plants: Focus on root hydraulic resistances. *Water Resources Research*. 2014;50(11):8891–8906. doi: 10.1002/2014WR015608
4. Parkhomenko SG, Parkhomenko GG. Method for structural modeling of systems for automatic regulation of operating modes of soil-cultivating units. *Trudy GOSNITI*. 2017;126:55–61. (In Russ). EDN: YLPRPR
5. Bluett C, Tullberg JN, McPhee JE, et al. Soil and Tillage Research: Why still focus on soil compaction? *Journal of CO₂ Utilization*. 2019;33:201–214. doi: 10.1016/j.still.2019.05.028
6. Parkhomenko GG, Parkhomenko SG. Reduced soil compaction during grain production. *Khranenie i pererabotka zerna*. 2017;2(210):20–24. (In Russ). EDN: QZWYWZ
7. Colombiabc T, Torresd LC, Walterc A, et al. Feedbacks between soil penetration resistance, root architecture and water uptake limit water accessibility and crop growth — a vicious

- circle. *Science of The Total Environment*. 2018;626(1):1026–1035. doi: 10.1016/j.scitotenv.2018.01.129
8. Geng Niu, Longtan Shao, De'an Sun, et al. A simplified directly determination of soil-water retention curve from pore size distribution. *Geomechanics and Engineering*. 2020;20(5):411–420 doi: 10.12989/gae.2020.20.5.411
9. Parkhomenko GG, Parkhomenko SG. Theoretical study of the mechanisms of movement of working bodies for tillage. In: *Intelligent machine technologies and equipment for the implementation of the state program for the development of agriculture Collection of scientific reports of the International Scientific and Technical Conference. Part 1*. Moscow: FNATS VIM; 2015:210–214. (In Russ). EDN: UFOINT
10. Chappell A, Webb NP. Using albedo to reform wind erosion modelling, mapping and Monitoring. *Aeolian Research*. 2016;23:63–78. doi: 10.1016/j.aeolia.2016.09.006
11. Belousov SV, Pomelyayko SA, Novikov VV. Design of the universal agricultural working body and study of its parameters. *MATEC Web of Conferences*. 2018;224:05006. EDN FZUDHT doi: 10.1051/mateconf/201822405006
12. Rykov VB, Kambulov SI, Shevchenko NV, et al. *Methodological approaches to substantiating the basic parameters of promising machine-technological units*. Krasnodar: KubGAU im IT Trubilina; 2022. (In Russ). EDN KUZKJL

ОБ АВТОРАХ

* **Белусов Сергей Витальевич**,
канд. техн. наук,
доцент кафедры «Процессы и машины в агробизнесе»,
младший научный сотрудник отдела механизации
растениеводства;
адрес: Российская Федерация, 347740, Зерноград,
ул. Научный городок, д. 3;
ORCID: 0000-0002-8874-9862;
eLibrary SPIN: 6847-7933;
e-mail: sergey_belousov_87@mail.ru

AUTHORS' INFO

* **Sergey V. Belousov**,
Cand. Sci. (Engineering),
Associate Professor of the of Processes and Machines
in Agribusiness Department, Junior Researcher
of the Mechanization of Crop Production Department;
address: 3 Nauchny Gorodok street, 347740 Zernograd,
Russian Federation;
ORCID: 0000-0002-8874-9862;
eLibrary SPIN: 6847-7933;
e-mail: sergey_belousov_87@mail.ru

Пархоменко Галина Геннадьевна,

канд. техн. наук,
ведущий научный сотрудник отдела
механизации растениеводства;
ORCID: 0000-0003-1944-216X;
eLibrary SPIN: 6048-2834;
e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru

Камбулов Сергей Иванович,

доцент, д-р техн. наук,
главный научный сотрудник, заведующий отделом
механизации растениеводства;
ORCID: 0000-0001-8712-1478;
eLibrary SPIN 3854-2942;
e-mail: kambulov.s@mail.ru

Божко Игорь Владимирович,

канд. техн. наук,
научный сотрудник отдела
механизации растениеводства;
ORCID: 0000-0002-8423-4079;
eLibrary SPIN: 8506-5144;
e-mail: i.v.bozhko@mail.ru

Подлесный Дмитрий Сергеевич,

канд. техн. наук,
младший научный сотрудник отдела механизации
растениеводства;
ORCID: 0000-0002-6069-138X;
eLibrary SPIN: 5168-1664;
e-mail: podlesniy.dmitri@yandex.ru

Galina G. Parkhomenko,

Cand. Sci. (Engineering),
Leading Researcher of the Mechanization of Crop
Production Department;
ORCID: 0000-0003-1944-216X;
eLibrary SPIN: 6048-2834;
e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru

Sergey I. Kambulov,

Associate Professor, Dr. Sci. (Engineering),
Chief Researcher of the Mechanization of Crop
Production Department;
ORCID: 0000-0001-8712-1478;
eLibrary SPIN 3854-2942;
e-mail: kambulov.s@mail.ru

Igor V. Bozhko,

Cand. Sci. (Engineering),
Researcher of the Mechanization
of Crop Production Department;
ORCID: 0000-0002-8423-4079;
eLibrary SPIN: 8506-5144;
e-mail: i.v.bozhko@mail.ru

Dmitry S. Podlesny,

Cand. Sci. (Engineering),
Junior Researcher of the Mechanization of Crop
Production Department;
ORCID: 0000-0002-6069-138X;
eLibrary SPIN: 5168-1664;
e-mail: podlesniy.dmitri@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author