

Методика инженерного расчета рабочего органа для мелкой обработки почвы

Сергей Иванович Камбулов^{1,2},
доктор технических наук, доцент,
главный научный сотрудник,
e-mail: kambulov.s@mail.ru;
Галина Геннадьевна Пархоменко¹,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru;

Ольга Сергеевна Бабенко²,
ассистент,
e-mail: lelyababenko.90@mail.ru;
Сергей Витальевич Белоусов^{1,3},
кандидат технических наук,
младший научный сотрудник
e-mail: sergey_belousov_87@mail.ru

¹Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Российская Федерация;

²Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация;

³Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, г. Краснодар, Российская Федерация

Реферат. Отметим, что параметры и режимы функционирования рабочего органа должны определяться комплексно с использованием согласованных между собой зависимостей. (*Цель исследования*) Разработать методику инженерного расчета параметров и режимов функционирования нового рабочего органа для мелкой обработки почвы с требуемыми показателями технологического процесса и с учетом свойств почвы. (*Материалы и методы*) Составлена схема силового взаимодействия. В результате анализа силового взаимодействия установили связь параметров рабочего органа с физико-механическими свойствами почвы. Получена зависимость параметров рабочего органа (угла крошения) с режимом действия агрегата (скоростью). (*Результаты и обсуждение*) Используются представляющие научную новизну зависимости параметров и режимов функционирования культиватора от физико-механических свойств почвы и показателей технологического процесса. Для мелкой обработки почвы предложен рабочий орган с криволинейными поверхностями повышенной обтекаемости. Представлены варианты одноярусного и многоярусного расположения рабочих органов, определения их ширины для требуемой ширины захвата культиватора. (*Выводы*) Предложена методика инженерного расчета, в соответствии с которой установлены параметры и режимы функционирования орудия: угол крошения 15 градусов, длина 30 сантиметров, ширина 45 сантиметров, угол раствора 75-110 градусов, угол подъема 10 градусов при глубине 6-16 сантиметров и скорости движения агрегата до 14 километров в час. Технологический процесс характеризуется крошением почвы с характерным размером комка до 25 миллиметров, тяговым сопротивлением до 3,7 килоньютон.

Ключевые слова: мелкая обработка почвы, инженерный расчет, рабочий орган, технологический процесс работы, энергетические показатели, модернизация.

■ **Для цитирования:** Камбулов С.И., Пархоменко Г.Г., Бабенко О.С., Белоусов С.В. Методика инженерного расчета рабочего органа для мелкой обработки почвы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №3. С. 67-72. DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-3-67-72. EDN ХОМАРМ.

Methodology for Engineering Calculation of Working Bodies for Shallow Tillage

Sergey I. Kambulov^{1,2},
Dr.Sc.(Eng.), associate professor, chief researcher,
e-mail: kambulov.s@mail.ru;
Galina G. Parkhomenko¹,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru;

Olga S. Babenko²,
assistant,
e-mail: lelyababenko.90@mail.ru;
Sergey V. Belousov^{1,3},
Ph.D.(Eng.), junior researcher,
e-mail: sergey_belousov_87@mail.ru

¹Agricultural Research Center «Donskoy», Zernograd, Russian Federation;

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

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

Abstract. This study emphasizes the need for a comprehensive determination of parameters and operational modes of the working body, employing mutually agreed dependencies. (*Research purpose*) The research aims to develop a methodology for calculating parameters and operational modes for a novel shallow tillage working body, considering the required technological process indicators and soil properties. (*Materials and methods*) A force interaction diagram has been constructed, enabling the establishment of a relationship between working body parameters and soil physical and mechanical properties. This analysis yields a correlation between the working body parameters (crumbling angle) and unit operation mode (speed). (*Results and discussion*) The innovative aspect lies in utilizing the relationships linking the cultivator parameters and operational modes with the soil properties and process indicators. For shallow tillage, a working body with curved surfaces and increased streamlining is proposed. Various single-tier and multi-tier configurations, along with corresponding working body widths aligned with cultivator width, are presented. (*Conclusions*) The paper introduces an engineering calculation method, determining the following working tool parameters: the crumbling angle of 15 degrees, the length of 30 centimeters, the width of 45 centimeters, the opening angle of 75-110 degree, the elevation angle of 10 degrees at the depths of 6-16 centimeters, and the speed of up to 14 kilometers per hour. The technological process involves soil crumbling resulting in a characteristic clod size of up to 25 millimeters, and tractive resistance reaching up to 3.7 kilonewtons.

Keywords: shallow tillage, engineering calculation, working body, technological process, energy indicators, modernization.

■ **For citation:** Kambulov S.I., Parkhomenko G.G., Babenko O.S., Belousov S.V. Metodika inzhenernogo rascheta rabocheho organa dlya melkoy obrabotki pochvy [Methodology for engineering calculation of working bodies for shallow tillage]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N3. 67-72 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2023-17-3-67-72. EDN XOMAPM.

Повышение эффективности почвообрабатывающих машин требует создания принципиально новой конструкции рабочих органов, проектирование которых основано на общей методологии исследования. Данная методология должна предусматривать учет свойств обрабатываемой среды, в которой функционирует разрабатываемый рабочий орган, и использование бионического формообразования для его проектирования [1, 2]. При этом методика определения параметров при актуальных требованиях к качеству обработки почвы должна иметь единую структуру, пригодную для расчета различных конструкций рабочего органа с учетом индивидуальных особенностей и назначения почвообрабатывающей машины [3].

Рабочий орган культиватора предназначен для подрезания сорных растений по всей поверхности поля, нарушения капиллярности и перемешивания растительных остатков в верхнем слое почвы, создания четкого посевного ложа. Наибольший научный и практический интерес представляют результаты исследования взаимодействия рабочего органа с обрабатываемой средой. Это послужит основой для проектирования, определения параметров и режимов функционирования новых рабочих органов. Так, параметры и режимы функционирования рабочего органа необходимо устанавливать на основании силового расчета, структурного моделирования и характеристик требуемого энергетического средства для агрегатирования почвообрабатывающей машины [4-6]. При этом учитываются условия функционирования рабочего органа, в частности аридность климата [7-9]. Новым направлением адаптации рабочего органа к условиям обрабатываемой среды является разработ-

ка конструкции с изменяемыми параметрами [10].

Отмечается ряд недостатков рабочих органов культиватора [11]. Так, при использовании стрельчатых лап отмечается большая неравномерность по глубине хода рабочих органов культиватора, вынос влажных слоев на поверхность поля, залипание, образование гребней и борозд [12, 13].

Параметры и режимы функционирования рабочего органа необходимо определять комплексно, с использованием согласованных между собой зависимостей, учитывающих не только геометрию конструкции [14, 15]. Не менее важны физико-механические свойства обрабатываемой среды, а также требуемые качественные и энергетические показатели технологического процесса [16, 17].

Цель работы – разработать методику расчета параметров и режимов функционирования нового рабочего органа культиватора по требуемым технологическим показателям процесса и с учетом свойств почвы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В отделе механизации растениеводства АНЦ «Донской» на основании принципов бионического формообразования разработана конструкция рабочего органа для мелкой обработки почвы с криволинейными поверхностями повышенной обтекаемости (*рис. 1*).

В результате анализа силового взаимодействия (*рис. 2*) выявлена взаимосвязь параметров рабочего органа (геометрических размеров) с физико-механическими свойствами почвы (углами внешнего, внутреннего трения, сдвига и др.).

Установлена взаимосвязь параметров рабочего органа (угла крошения) и режима работы агрегата (скоростью) с учетом физико-механических свойств по-



Рис. 1. Рабочий орган для мелкой обработки почвы на основе бионического формообразования

Fig. 1. Bionically shaped working body for shallow tillage

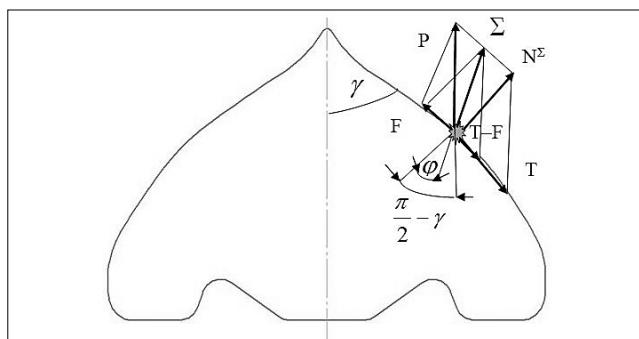


Рис. 2. Схема силового взаимодействия рабочего органа с почвенной средой: γ – угол раствора; ϕ – угол внешнего трения; N^Σ – суммарная сосредоточенная нагрузка; P – проекция суммарной сосредоточенной нагрузки в направлении скорости поступательного движения рабочего органа; T – проекция суммарной сосредоточенной нагрузки в направлении касательной вдоль режущей кромки; Σ – результирующая суммарная сил P и $T - F$; F – сила трения

Fig. 2. Diagram illustrating the force interaction between the working body and the soil environment: γ – opening angle; ϕ – angle of external friction; N^Σ – total concentrated load; P – projection of the total concentrated load in the direction of the translational movement speed of the working body; T – projection of the total concentrated load in the direction tangential to the cutting edge; Σ – resultant total forces P and $T - F$; F – friction force

чвы, которые, в свою очередь, характеризуются изменением углов внешнего и внутреннего трения при различной твердости и влажности почвы. Получено выражение, раскрывающее взаимосвязь угла крошения с энергетическими (тяговым сопротивлением) и качественными (размером комка) показателями технологического процесса с учетом изменения углов трения при различной твердости и влажности почвы.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. В исследовании использованы зависимости, представляющие научную новизну с точки зрения корреляции параметров и режимов функционирования культиватора, физико-механических свойств почвы и показателей технологического процесса мелкой обработки почвы. На этой основе разработана методика инженерного расчета.

1. В целях обеспечения резания со скольжением для полного подрезания сорных растений выбирается угол раствора 2γ с учетом внешнего трения с обрабатываемой средой из следующей зависимости:

$$2 \cdot \gamma \leq \pi - 2 \cdot \phi. \quad (1)$$

2. Для уменьшения силы сопротивления резанию устанавливается минимальный угол крошения β (между поверхностью рабочего органа и дном борозды в продольно-вертикальной плоскости), исходя из требуемого заострения ζ и заднего затылочного угла резания ε :

$$\beta < \varepsilon + \zeta, \text{ град.} \quad (2)$$

3. Длина рабочего органа l (м) и диапазон скорости V (м/с) на основании качественного крошения пласта при достаточном временном сопротивлении сжатию σ почвы (Н/м^2), физико-механические свойства которой характеризуются плотностью ν (кг/м^3), внешним ϕ и внутренним ρ трением принимаются по соотношению:

$$\sigma \geq \frac{V^2 \cdot \nu \cdot \left(\frac{\sin(\beta + \phi + \rho)}{2} - \sin^2\left(\frac{\beta + \phi + \rho}{2}\right) \cdot \text{ctg}(\beta + \phi) \right) + l \cdot g \cdot \nu}{\sin\left(\frac{\beta + \phi + 3\rho}{2}\right) + \cos\left(\frac{\beta + \phi + 3\rho}{2}\right) \cdot \text{ctg}(\beta + \phi)}. \quad (3)$$

При соблюдении такого соотношения рабочий орган функционирует без образования почвенного нароста (призмы волочения), обусловленной сгуживанием почвы.

4. Для требуемого захвата культиватора B подбирается ширина рабочего органа b по номинальному тяговому усилию (Н) применяемого энергосредства с учетом перекрытия χ :

$$B = b \cdot n - \chi \cdot (n - 1), \text{ м.} \quad (4)$$

При однорядной схеме рабочие органы размещены на одном прямом брусе. Такое размещение может быть применено в основном при рыхлении почвы в междурядьях возделываемых культур. Для сплошной обработки почвы при малой ширине междурядья культиватор с однорядной схемой размещения рабочих органов забивается почвой и растительными остатками.

В многорядном культиваторе два последних ряда стоек рабочих органов должны располагаться на увеличенном расстоянии друг от друга, обеспечивая ровный фон и подрезание оставшихся сорных растений. Двухрядные стерневые культиваторы осуществляют основную сплошную обработку по стерне, препятствуя испарению влаги, заделывая пожнивные остатки и провоцируя прорастание сорных растений, не оставляя при этом плужной подошвы. Подобный культиватор должен иметь широко расставленные в ряду стойки с рабочими органами и перекрытие. Причем для обеспечения сплошного перекрытия устанавливается дополнительный брус для крепления рабочих органов, а рабочие органы с первого ряда частично убираются и переносятся на второй ряд.

При двухрядной схеме рабочие органы первого ряда (это почти половина их общего числа на раме) функционируют в сплошной среде, осуществляя процесс

несвободного блокированного резания (при отсутствии открытой боковой стенки – разрыхленной сбобку почвы), что способствует повышению тягового сопротивления. Исполнительные элементы первого ряда, работая в сплошной среде, изнашиваются и подвергаются поломкам быстрее, чем расположенные в последнем ряду.

При размещении в заднем ряду на раме относительно большего количества рабочих органов для крайних боковых обеспечивается полусвободное полублокированное резание с одной открытой стенкой, а для средних – свободное резание при наличии двух открытых стенок. При меньшем количестве рабочих органов заднего ряда все они функционируют в условиях свободного резания.

При работе на стерне, особенно длинностебельных растений, культиватор с двухрядным расположением рабочих органов может забиваться пожнивными остатками в пространстве между передним и задним рядами. При многорядной схеме культиватор не забивается пожнивными остатками на стерневых фонах. Обеспечивается достаточное расстояние между рабочими органами в каждом ряду по ширине захвата, в результате исключается забивание рабочих органов, значительно улучшается крошение и уменьшается высота неразрушенных гребней. Недостатком многорядной схемы, как и двухрядной, является то, что все рабочие органы первого ряда, составляющие, как правило, большую часть их общего числа на раме, функционируют в сплошной среде, осуществляя несвободное блокированное резание с повышенными затратами энергии.

Также при работе на полях с неровной поверхностью снижается устойчивость хода глубины рабочих органов по глубине переднего ряда относительно заднего. Наблюдается ускоренный износ рабочих органов первого ряда, функционирующих в условиях блокированного резания в сплошной среде. При увеличении ширины захвата машины число рабо-

чих органов, работающих в сплошной среде, только возрастает.

Ширина лап и их количество определяют интенсивность работы культиватора и качество крошения пласта после культивирования. Рабочие органы с большой шириной захвата и расстановкой формируют крупные комья на поверхности почвы. Соответственно, чем тяжелее почва, больше должна быть глубина и меньше расстояние, характеризующее расстановку, тем более узким должен быть сам рабочий орган.

5. Из конструктивных соображений выбирается высота профильной проекции рабочего органа h (рис. 3), которая связана функциональной зависимостью с углом подъема α :

$$tg\alpha = tg\beta \cdot \sin\gamma. \quad (5)$$

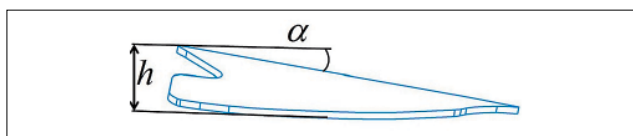


Рис. 3. Определение профильной высоты проекции рабочего органа

Fig. 3. Calculation of the profile height for the projected working body

6. Определяется характерный размер комка a' – качественный показатель технологического процесса. Его нормативное значение регламентировано агротехническими требованиями в зависимости от глубины обработки почвы a (см):

$$a' = \frac{a}{(0,2-0,3) \cdot \cos\left(\frac{\beta + \varphi + \rho}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{3 \cdot \beta + \varphi + \rho}{2}\right)} \leq 2,5 \text{ мм.} \quad (6)$$

При мелкой обработке почвы (до 16 см) агротехнически целесообразным считается преобладание комков размером менее 2,5 см.

7. Уточняется скорость рабочего органа, установленная на основании условия (3):

Таблица		Table
ПАРАМЕТРЫ, РЕЖИМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА КУЛЬТИВАТОРА И ПОКАЗАТЕЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА МЕЛКОЙ ОБРАБОТКИ ПОЧВЫ		
PARAMETERS AND OPERATION MODES OF THE CULTIVATOR'S WORKING BODY, AND INDICATORS FOR THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF SHALLOW TILLAGE		
Показатель / Indicator	Обозначение	Величина
Глубина / Depth	a , см	6-16
Угол крошения / Crumbling angle	β , град	15
Рациональная скорость / Optimal speed	V , км/ч	До 14
Характерный размер комка / Characteristic lump size	a' , мм	До 25
Тяговое сопротивление / Traction resistance	P_T , кН	До 3,7
Длина рабочего органа / Working body length	l , см	30
Ширина рабочего органа / Working body width	b , м	45
Высота профильной проекции / Profile projection height	h , см	6
Угол раствора / Opening angle	γ , град	75-110
Угол подъема / Lifting angle	α , град	10

$$V = \sigma \cdot \frac{\cos\left(\frac{3 \cdot \beta + \varphi + \rho}{2}\right)}{\sin \beta} \times \sqrt{\frac{g}{109 \cdot v \cdot \exp[3,8 \cdot (v-1,2)]}}, \text{ м/с.} \quad (7)$$

8. В зависимости от выбранного угла крошения β по зависимости (2) и характерного размера комка по выражению (6) определяется тяговое сопротивление рабочего органа P_T – энергетический показатель технологического процесса мелкой обработки почвы в зависимости от силы сцепления (Н/м^2) – внутренней связи между комками:

$$P_T = \frac{c_0 \cdot \Sigma(\Delta a')^2 \cdot \sin(\beta + \varphi) \cdot \cos \rho}{\cos\left(\frac{\beta + \varphi + \rho}{2}\right)}, \text{ Н.} \quad (8)$$

Результаты инженерного расчета рабочего органа культиватора представлены в [таблице](#).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бабицкий Л.Ф., Соболевский И.В. Бионическое обоснование конструкции упругих рабочих органов культиватора-плоскореза // *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*. 2016. N6(169). С. 50-59.
2. Бабицкий Л.Ф., Москалевич В.Ю., Соболевский И.В. Развитие бионического направления в земледельческой механике // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2017. N4(59). С. 68-74.
3. Федоренко В.Ф., Киреев И.М., Марченко В.О. Исследование методов и технических средств для измерения глубины обработки почвы при испытаниях почвообрабатывающих машин // *Техника и оборудование для села*. 2019. N5(263). С. 12-17.
4. Пархоменко Г.Г., Пархоменко С.Г. Силовой анализ механизмов перемещения рабочих органов почвообрабатывающих машин по заданной траектории // *Тракторы и сельхозмашины*. 2018. N1. С. 47-54.
5. 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.
6. Пархоменко С.Г., Пархоменко Г.Г. Экспериментальное исследование характеристик тракторных пневматических шин // *Тракторы и сельхозмашины*. 2017. N11. С. 40-48.
7. Amin M., Khan M.J., Jan M.T., et al. Effect of different tillage practices on soil physical properties under wheat in semi-arid environment. *Soil and Environment*. 2014. Vol. 33. Iss. 1. 33-37.
8. Mairghanya M., Yahya A., Adamb N.M., et al. Rotary tillage effects on some selected physical properties of fine textured soil in wetland rice cultivation in Malaysia. *Soil and Tillage Research*. 2019. Vol. 194.
9. Савельев Ю.А., Кухарев О.Н., Ларюшин Н.П. и др. Снижение потерь почвенной влаги на испарение // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N1. С. 42-47.
10. Мударисов С.Г., Султанов Ш.М. Обоснование рабочей поверхности стрелчатой лапы с изменяемыми параметрами // *Достижения науки и техники АПК*. 2006. N8. С. 35-36.
11. Припоров Е.В., Припоров И.Е., Самурганов Г.Е. Сравнительный анализ культиваторов для предпосевной обработки почвы // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020. N1(81). С. 77-81.
12. Руденко Н.Е., Ляхов А.П. Ресурсосберегающий модульный паровой культиватор // *Известия Горского государственного аграрного университета*. 2009. Т. 46. N2. С. 93-96.
13. Wang M., Fu Z.L., Zheng Z.Q., et al. Effect of Performance of Soil Cultivator with Different Surface Textures of Shovel Wing. *Agriculture*. 2021. 11. 1039.
14. Старовойтов С.И., Гринь А.М., Лебедев Д.Е. Об углах универсальной стрелчатой лапы // *Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии*. 2016. N3(55). С. 76-82.
15. Белоусов С.В. Лемешный плуг с дополнительными дисковыми рабочими органами // *Политехнический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2016. N115 (01). С. 783-797.
16. Mudarisov S.G., Mudarisov I.I., Lobachevsky Ya.P., et al. Modeling the technological process of tillage. *Soil and Tillage Research*. 2019. Vol. 190. 70-77.
17. Rakhimov Z.S., Mudarisov S.G., Gabitov I.I., et al. Mathematical description of the mechanical erosion process in sloping fields. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. Vol. 13. N 88. 6505-6511.

REFERENCES

- Babitskiy L.F., Sobolevsky I.V. Bionicheskoe obosnovanie konstruktivnykh uprugikh rabochikh organov kul'tivatora-ploskoreza [Bionic design justification of resilient working bodies of the flat cut cultivator]. *Izvestiya sel'skokhozyaystvennoy nauki Tavriydy*. 2016. N6(169). 50-59 (In Russian).
- Babitskiy L.F., Moskalevich V.Yu., Sobolevskiy I.V. Razvitiye bionicheskogo napravleniya v zemledeleycheskoy mekhanike [The development of bionic trends in agricultural mechanics]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*. 2017. N4(59). 68-74 (In Russian).
- Fedorenko V.F., Kireev I.M., Marchenko V.O. Issledovanie metodov i tekhnicheskikh sredstv dlya izmereniya glubiny obrabotki pochvy pri ispytaniyakh pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Research of methods and technical means for measuring the tillage depth when testing tillage machines]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2019. N5(263). 12-17 (In Russian).
- Parkhomenko G.G., Parkhomenko S.G. Silovoy analiz mekhanizmov peremeshcheniya rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchikh mashin po zadannoy traektorii [Force analysis of mechanism of tillage machines working elements following a specified path]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2018. N1. 47-54 (In Russian).
- Parkhomenko G.G., Parkhomenko S.G. Metod strukturnogo modelirovaniya sistem avtomaticheskogo regulirovaniya ekspluatatsionnykh rezhimov raboty pochvoobrabatyvayushchikh agregatov [Method of structural modeling of automatic control systems for operating modes of soil-cultivating units]. *Trudy GOSNITI*. 2017. Vol. 126. 55-61 (In Russian).
- Parkhomenko G.G., Parkhomenko S.G. Eksperimental'noye issledovanie kharakteristik traktornykh pnevmaticheskikh shin [Experimental study of the tractor pneumatic tire characteristics]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2017. N11. 40-48 (In Russian).
- Amin M., Khan M.J., Jan M.T., et al. Effect of different tillage practices on soil physical properties under wheat in semi-arid environment. *Soil and Environment*. 2014. Vol. 33. N1. 33-37 (In English).
- Mairghanya M., Yahyaa A., Adamb N.M., et al. Rotary tillage effects on some selected physical properties of fine textured soil in wetland rice cultivation in Malaysia. *Soil and Tillage Research*. 2019. Vol. 194 (In English).
- Savel'ev Yu.A., Kuharev O.N., Laryushin N.P., et al. Snizhenie poter' pochvennoy vlagi na ispareniye [Soil moisture loss reduction owing to evaporation]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. N1. 42-47 (In Russian).
- Mudarisov S.G., Sultanov Sh.M. Obosnovaniye rabochey poverkhnosti strel'chatoy lapy s izmenyaemyimi parametrami [Justification of the working surface of the lancet paw with variable parameters]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2006. N8. 35-36 (In Russian).
- Priporov E.V., Priporov I.E., Samurganov G.E. Sravnitel'nyy analiz kul'tivatorov dlya predposevnoy obrabotki pochvy [Comparative analysis of cultivators for preseeded soil treatment]. *Proceedings of the Orenburg State Agrarian University*. 2020. N1(81). 77-81 (In Russian).
- Rudenko N.E., Lyakhov A.P. Resursosberegayushchiy modul'nyy parovoy kul'tivator [Resource-saving modular steam cultivator]. *Proceedings of the Gorsky State Agrarian University*. 2009. Vol. 46. N2. 93-96 (In Russian).
- Wang M., Fu Z.L., Zheng Z.Q., et al. Effect of Performance of Soil Cultivator with Different Surface Textures of Shovel Wing. *Agriculture*. 2021. 11. 1039 (In English).
- Starovoytov S.I., Grin' A.M., Lebedev D.E. Ob uglakh universal'noy strel'chatoy lapy [Angles of the center hoe]. *Vestnik Bryanskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2016. N3(55). 76-82 (In Russian).
- Belousov S.V. Lemeshnyy plug s dopolnitel'nymi diskovymi rabochimi organami [Ploughshare plow with additional disk working bodies]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal KubGAU*. 2016. N115(01). 783-797 (In Russian).
- Mudarisov S.G., Mudarisov I.I., Lobachevsky Ya.P., et al. Modeling the technological process of tillage. *Soil and Tillage Research*. 2019. Vol. 190. 70-77 (In English).
- Rakhimov Z.S., Mudarisov S.G., Gabitov I.I., et al. Mathematical description of the mechanical erosion process in sloping fields. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018. Vol. 13. N 8. 6505-6511 (In English).

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Камбулов С.И. – научное руководство, постановка задачи исследования, оценка достоверности полученных результатов;

Пархоменко Г.Г. – разработка методики инженерного расчёта рабочего органа для мелкой обработки почвы;

Бабенко О.С. – обзор и анализ направлений развития конструкции почвообрабатывающих рабочих органов;

Белосов С.В. – обработка результатов, построение схем и чертежей в программе «Компас», литературный анализ, доработка текста.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Kambulov S.I. – scientific guidance, formulation of the research task, assessment of the result validity;

Parkhomenko G.G. – development of engineering calculation method for the shallow tillage working body;

Babenko O.S. – review and analysis of the directions in the design advancement of tillage working bodies;

Belousov S.V. – results processing, construction of diagrams and drawings drawings using the Compass program, literature review, manuscript revision.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

07.07.2023

07.09.2023