



## Обоснование параметров размещения новых рабочих органов на раме парового культиватора

**Галина Геннадьевна Пархоменко**<sup>1</sup>,  
 кандидат технических наук,  
 ведущий научный сотрудник,  
 e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru;  
**Дмитрий Сергеевич Подлесный**<sup>1,2</sup>,  
 старший преподаватель,  
 e-mail: podlesniy.dmitri@yandex.ru;  
**Сергей Иванович Камбулов**<sup>1,2</sup>,  
 доктор технических наук, профессор,  
 главный научный сотрудник,  
 e-mail: kambulov.s@mail.ru;

**Виктор Борисович Рыков**<sup>1,2</sup>,  
 доктор технических наук, профессор,  
 главный научный сотрудник,  
 e-mail: rykovvb@mail.ru;  
**Олег Алексеевич Полушкин**<sup>2</sup>,  
 доктор технических наук, профессор,  
 e-mail: polushckinol@yandex.ru

<sup>1</sup>Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Российская Федерация;

<sup>2</sup>Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

**Реферат.** Отметим, что существующие паровые культиваторы не всегда соответствуют требованиям по качественным показателям технологического процесса поверхностной обработки почвы, в частности, при использовании стрельчатых лап. Совершенствование рабочих органов парового культиватора может осуществляться путем коренной модернизации конструкции, при полном отказе от стрельчатых лап. (*Цель исследования*) Выбор рационального размещения рабочих органов на раме парового культиватора. (*Материалы и методы*) Предлагаемая конструкция нового рабочего органа парового культиватора, без стрельчатых лап, состоит из стойки с долотом и последовательно установленных на ней лево- и правосторонних плоскорезов. (*Результаты и обсуждение*) Выявлены виды сред, влияющие на тяговое сопротивление рабочего органа парового культиватора: при отсутствии разрушенной почвы с боковых сторон среда сплошная; при наличии разрушенной почвы с одной стороны – полусплошная, с двух сторон – свободная. Определена наиболее рациональная схема размещения четного количества рабочих органов на раме парового культиватора, т.е. двухрядная с изменяемой шириной захвата. При этом половина рабочих органов функционирует в условиях сплошной среды, один – полусплошной, а остальные – свободной среды с наименьшим тяговым сопротивлением. (*Выводы*) В результате расчетов определены следующие параметры размещения на раме парового культиватора: схема двухрядная с четным количеством рабочих органов; количество рабочих органов 6; ширина захвата машины 3 метра; расстояние вдоль рабочего органа 52-54 сантиметра; поперечное расстояние между рабочими органами 48-50 сантиметров.

**Ключевые слова:** паровой культиватор, обработка почвы, рама культиватора, параметры культиватора.

■ **Для цитирования:** Пархоменко Г.Г., Подлесный Д.С., Камбулов С.И., Рыков В.Б., Полушкин О.А. Обоснование параметров размещения новых рабочих органов на раме парового культиватора // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. №3. С. 30-36. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-3-30-36. EDN: LXTVNQ.

Scientific article

## Justification of the Parameters for Arranging New Working Bodies on the Frame of a Steam Cultivator

**Galina G. Parkhomenko**<sup>1</sup>,  
 Ph.D.(Eng.), leading researcher,  
 e-mail: parkhomenko.galya@yandex.ru;  
**Dmitry S. Podlesny**<sup>1,2</sup>,  
 senior lecturer, e-mail: podlesniy.dmitri@yandex.ru;  
**Sergey I. Kambulov**<sup>1,2</sup>,  
 Dr.Sc.(Eng.), professor, chief researcher,  
 e-mail: kambulov.s@mail.ru;

**Viktor B. Rykov**<sup>1,2</sup>,  
 Dr.Sc.(Eng.), professor, chief researcher,  
 e-mail: rykovvb@mail.ru;  
**Oleg A. Polushkin**<sup>2</sup>,  
 Dr.Sc.(Eng.), professor,  
 e-mail: polushckinol@yandex.ru

<sup>1</sup>Agricultural Research Center «Donskoy», Zernograd, Russian Federation;

<sup>2</sup>Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

**Abstract.** The paper highlights that existing steam cultivators do not always meet the quality requirements for the technological process of surface tillage, particularly when equipped with sweep shares. The performance of steam cultivator working bodies can be improved through a fundamental redesign involving the complete elimination of sweep shares. (*Research purpose*) The study aims to determine the optimal arrangement of working bodies on the frame of a steam cultivator. (*Materials and methods*) The proposed design of the new working element, excluding sweep shares, consists of a shank with a chisel and consecutively mounted left- and right-sided flat cutters. (*Results and discussion*) The study identified three distinct soil conditions affecting the draft resistance of the steam cultivator's working element: solid – without loosened soil on the sides; semi-solid – with loosened soil on one side; and free – with loosened soil on both sides. It was established that most efficient arrangement of an even number of working bodies on the cultivator frame is a two-row configuration with adjustable working width. In this arrangement, half of the working bodies operate under solid conditions, one operates under semi-solid conditions, and the rest operate under free conditions, which ensure the lowest draft resistance. (*Conclusions*) The calculations yielded the following optimal parameters for arrangement of working bodies on the steam cultivator frame: a two-row arrangement with an even number of working bodies; a total of 6 working bodies; a machine working width of 3 meters; a longitudinal spacing between working bodies of 52–54 centimeters; and a transverse spacing of 48–50 centimeters.

**Keywords:** steam cultivator, soil cultivation, cultivator frame, cultivator parameters.

■ **For citation:** Parkhomenko G.G., Podlesny D.S., Kambulov S.I., Rykov V.B., Polushkin O.A. Justification of the parameters for arranging new working bodies on the frame of a steam cultivator. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N3. 30-36 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-3-30-36. EDN: LXTVNQ.

При возделывании сельскохозяйственных культур одним из основных процессов обработки почвы является культивация, которая заключается в рыхлении, крошении почвы, подрезании корневой системы сорняков. Эти процессы осуществляются культиваторами. Однако существующие паровые культиваторы не всегда соответствуют требованиям по качественным показателям технологии процесса поверхностной обработки почвы. Совершенствование рабочих органов парового культиватора может осуществляться путем коренной модернизации его конструкции, полного отказа от стрелчатых лап.

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

Рабочий орган парового культиватора предназначен для подрезания сорных растений по всей поверхности поля, нарушения капиллярности и перемешивания растительных остатков в верхнем слое почвы, создания четкого посевного ложа. Наиболь-

ший 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 на основании силового расчета [4], структурного моделирования [5] и характеристик энергетического средства для агрегатирования почвообрабатывающей машины [6]. Также необходимо учитывать условия функционирования рабочего органа [7], в частности, аридность климата [8, 9]. Новым направлением адаптации рабочего органа к условиям обрабатываемой среды является разработка конструкции с изменяемыми параметрами [10].

Отмечен ряд недостатков рабочих органов парового культиватора [11]. Так, при использовании стрелчатых лап отмечается большая неравномерность по глубине хода рабочих органов культиватора [12], вынос влажных слоев на поверхность поля, залипание, образование гребней и борозд [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 исследования** – выбор рационального размещения предлагаемых новых рабочих органов на раме парового культиватора.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ.** В отделе механизации растениеводства Аграрного научного центра «Донской» разработана конструкция нового рабочего органа, без стрелчатых лап, который состоит из стойки с долотом и последовательно установленных на ней лево- и правосторонних плоскорезов (рис. 1).



Рис. 1. Новый рабочий орган парового культиватора  
Fig. 1. New working body of the steam cultivator

**РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ.** При разработке конструкции парового культиватора необходимо выбирать схему размещения рабочих органов, при которой не возникают заклинивание комков почвы и забивание растительными остатками промежутков между соседними стойками, но обеспечивается полное подрезание сорной растительности и гладкая поверхность обработанного поля с минимальной гребнистостью, с преобладающим размером фракций не более 25 мм.

При размещении рабочих органов следует стремиться к уменьшению массы за счет сокращения длины, но обеспечивая требуемую ширину захвата машины в зависимости от тягового класса агрегирующего трактора. Также необходимым условием рационального размещения является выбор наименьшего из возможного количества рабочих органов на раме, функционирующих в сплошной среде необработанной почвы. Выполнение данного условия существенно влияет на снижение тягового сопротивления культиватора.

Можно выделить следующие виды сред, влияющих на тяговое сопротивление рабочего органа парового культиватора:

- при отсутствии разрушенной почвы с боковых сторон – сплошная среда;
- при наличии разрушенной почвы с одной стороны – полусплошная среда;
- при наличии разрушенной почвы с двух сторон – свободная среда.

Максимальное тяговое сопротивление наблюдается при размещении рабочих органов в один ряд, поскольку их взаимодействие с необработанной почвой характеризуется наличием сплошной среды. Помимо этого, возможно забивание растительными остатками и почвой промежутков между соседними стойками рабочих органов (рис. 2).

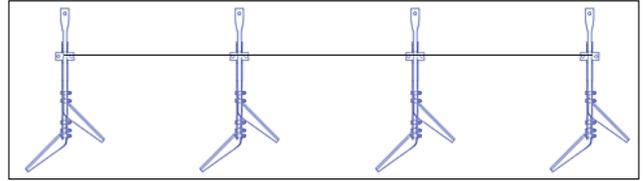


Рис. 2. Схема размещения рабочих органов культиватора в один ряд

Fig. 2. Single-row arrangement of the cultivator's working bodies

Этот недостаток можно устранить при размещении рабочих органов в два и более ряда.

При размещении рабочих органов в два ряда тяговое сопротивление парового культиватора снижается ввиду сокращения количества рабочих органов, функционирующих в сплошной среде неразрыхленной почвы.

В условиях сплошной среды функционируют рабочие органы только первого ряда, а следующие за ними взаимодействуют с разрыхленной почвой, осуществляя процесс полусплошного (с одной стороны) и свободного (с двух сторон) резания. При функционировании рабочих органов в полусплошной среде тяговое сопротивление ниже, чем в условиях сплошной среды из-за рассеивания напряжений у границы разрыхленной почвы.

Тяговое сопротивление снижается ввиду сокращения количества рабочих органов, функционирующих в сплошной среде неразрыхленной почвы. В условиях сплошной среды функционируют рабочие органы только первого ряда, а следующие за ними взаимодействуют с разрыхленной почвой, осуществляя процесс полусплошного (с одной стороны) и свободного (с двух сторон) резания. При функционировании рабочих органов в полусплошной среде тяговое сопротивление ниже, чем в условиях сплошной среды из-за рассеивания напряжений у границы разрыхленной почвы.

При установке рабочих органов в два ряда возможны различные варианты размещения (рис. 3). Вариант 1 с нечетным количеством рабочих органов предусматривает, что четыре передние рабочие органы функционируют в условиях сплошной среды, а три задние – в свободной среде.

В варианте 2 с нечетным количеством рабочих органов три передние функционируют в условиях сплошной среды, два боковые задние – в полусплошной и два центральные – в свободной среде.

В варианте 3 размещения на раме предлагается схема с четным количеством рабочих органов. Половина из них функционирует в условиях сплошной среды, один – в полусплошной, остальные – в свободной среде с наименьшим тяговым сопротивлением. При такой схеме размещения возможно регулирование ширины захвата культиватора посред-

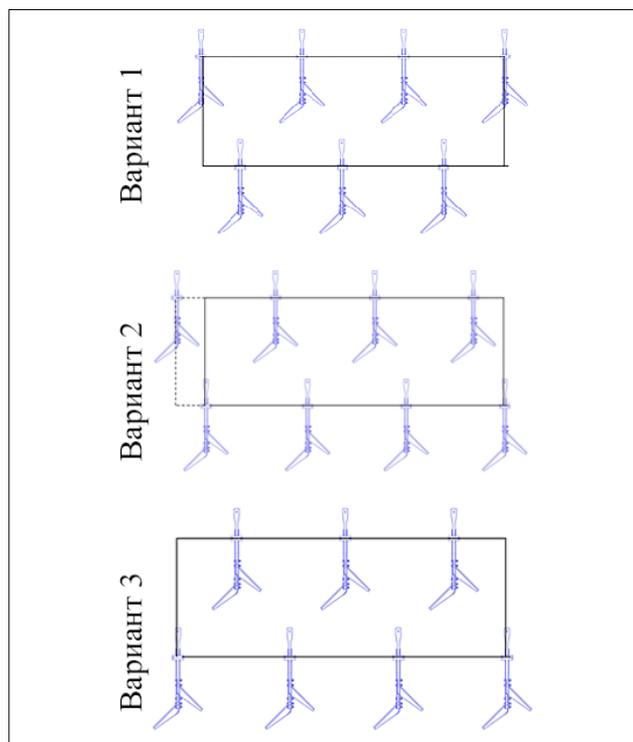


Рис. 3. Схема размещения рабочих органов парового культиватора в два ряда

Fig. 3. Two-row arrangement of the steam cultivator's working bodies

ством демонтажа крайнего рабочего органа переднего ряда.

При функционировании рабочего органа сорная растительность уничтожается в процессе скользящего резания. Поэтому при размещении рабочих органов на раме необходимо учесть перекрытие плоскорезных рыхлителей (проекций соседних плоскорезных рыхлителей при размещении их в два ряда) в поперечном направлении (вариант 2). Данное условие является необходимым для того, чтобы не возникало огрехов при подрезании сорной растительности и сплошном рыхлении почвы при работе культиватора, поскольку он перемещается по полю не всегда прямолинейно.

Отклонение движения культиватора от прямолинейной траектории учитывается углом  $\omega$  в зависимости от продольного размещения, длины  $L$  рабочих органов (рис. 4а) при их перекрытии  $\Delta$  по формуле:

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{\Delta}{L}. \quad (1)$$

Размер поперек  $M$  есть промежуток между стойками (проекциями их при размещении рабочих органов культиватора в два ряда) в поперечном направлении (вариант 3).

При определении размера вдоль  $L$  необходимо учитывать наличие опережающей трещины при взаимодействии с почвой долота рабочего органа,

которое формирует опережающую трещину в продольном направлении, а плоскорезные рыхлители разрезают отделенный массив почвы в поперечном направлении. Опережающая трещина приводит к возникновению области напряженного состояния и разрушению почвы перед лобовой поверхностью долота под углом скола почвы. При этом, чем выше скорость движения, тем дальше распространяется фронт трещины, что сопровождается большей интенсивностью крошения почвы предлагаемым новым рабочим органом.

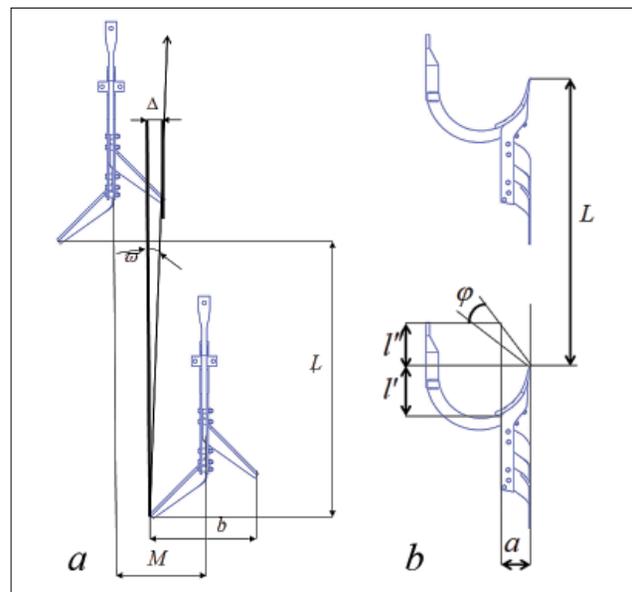


Рис. 4. Определение расстояния между рабочими органами с учетом перекрытия (а) и расстояние между рабочими органами вдоль по ходу движения культиватора (б)  
Fig. 4. Determination of spacing between working bodies, taking overlap into account (a) and spacing along the working bodies as the cultivator moves (b)

При размещении рабочих органов вдоль  $L$  покрытие области напряженного состояния  $l''$  пространства между стойками характеризуется выносом долота  $l'$  в продольном направлении с учетом фронта опережающей трещины (рис. 4б).

$$L \geq l' + l''. \quad (2)$$

Зависимость (2) является условием, при соблюдении которого исключено забивание парового культиватора почвой и растительными остатками в промежутке между передним и задним рядами рабочих органов при размещении их в два ряда.

Вынос долота  $l'$  влияет на характер взаимодействия рабочего органа с пластом почвы. При небольшом выносе пласт под влиянием фронта опережающей формируемой трещины расходится в стороны и стойка функционирует в разрушенной почве, что снижает тяговое сопротивление и положительно влияет на качество обработки почвы.

Чрезмерно увеличенный вынос долота может привести к сгуживанию почвы в виде холмика [9] перед рабочим органом и возрастанию тягового сопротивления, повышает гребнистость поля.

При рационально выбранном размере выноса долота формируемая опережающая трещина раскрывается, пласт скалывается и сдвигается в боковые стороны, образуется продольная щель и стойка перемещается по обработанной почве. С учетом соотношения для определения угла скола почвы [10]:

$$L \geq \operatorname{atg} \frac{\beta + \varphi + \rho}{2} + l', \quad (3)$$

где  $\beta$  – угол крошения или установки долота рабочего органа к дну борозды (на схеме не показан), град.;  $\varphi$  – угол внешнего трения почвы по поверхности рабочего органа, град.;  $\rho$  – угол внутреннего трения почвы (на схеме не показан), град.

Область напряженного состояния перед рабочим органом культиватора в поперечном направлении формирует поле деформации почвы. Ширину поля можно определить для стрельчатой лапы по зависимости [11]:

$$П = 2 \cdot a + b + 0,5 \cdot \operatorname{atg} \frac{\beta + \varphi + \rho}{2} \cdot \cos \frac{\gamma}{2}, \quad (4)$$

где  $a$  – глубина культивации, м;  $b$  – ширина рабочего органа, м;  $\gamma$  – угол раствора лапы, град.

Поскольку у плоскорезных рыхлителей рабочего органа угол раствора  $\gamma = \pi$ ,  $\cos \pi = 0$  зависимость (4) примет вид:

$$П = 2 \cdot a + b. \quad (5)$$

В поперечно-вертикальной плоскости можно выделить три области напряженного состояния почвы [12] перед рабочим органом культиватора:

- область крошения пласта, определяемая контуром рабочего органа;
- область крошения пласта за пределами рабочего органа, определяемая фронтом распространения опережающей трещины;
- область напряженного состояния деформированного пласта, не достигающего предела разрушения.

При этом чем больше энергии затрачивается в области 1 ( $E_1$ ) и 2 ( $E_2$ ), тем ниже энергоемкость ( $E$ ) обработки почвы паровым культиватором.

Область крошения пласта за пределами рабочего органа определяет условия функционирования в сплошной, полусплошной или свободной среде.

Коэффициент полезного действия рабочего органа рассчитывается по формуле [10]:

$$\eta = \frac{E_1 + E_2}{E} = \frac{E_1 + E_2}{E_1 + E_2 + E_3}. \quad (6)$$

Составляющая полной энергоемкости ( $E$ ), затрачиваемая на деформирования почвы без крошения ( $E_3$ ), расходуется нерационально на излишнее уплотнение почвы. Соотношение составляющих формулы (6) зависит от размещения поперек  $M$  рабочих органов на раме.

Для обеспечения сплошной культивации почвы без пропусков и огрехов в виде необработанных полос необходимо рабочие органы размещать на раме парового культиватора поперек  $M$  таким образом, чтобы выполнялось условие:

$$M > П. \quad (7)$$

Подставив зависимость (5) в неравенство (7) получим формулу для определения размера поперек  $M$ :

$$M > 2 \cdot a + b. \quad (8)$$

Размер поперек  $M$  между соседними рабочими органами оказывает значительное влияние на качество обработки почвы. При размещении рабочих органов в один ряд на раме, как правило, либо происходит забивание пространства между рабочими органами при малом  $M$ , либо остаются огрехи в виде не полностью подрезанной сорной растительности и необработанной почвы  $M$ . Поэтому на раме парового культиватора целесообразно разместить рабочие органы в два ряда.

Наиболее рациональной схемой размещения четного количества рабочих органов на раме культиватора является вариант двухрядной схемы с изменяемой шириной захвата (см. рис. 3).

Количество рабочих органов парового культиватора выбирается в зависимости от размещения их на раме [13] при ширине захвата  $B$  с учетом перекрытия  $\Delta$ :

$$n = \frac{B}{b - \Delta}. \quad (9)$$

где  $b$  – ширина рабочего органа, м.

Ширина захвата культиватора выбирается для определенного тягового класса трактора исходя из суммарного тягового сопротивления рабочих органов [14, 15]. При этом тяговое сопротивление рабочих органов, функционирующих в условиях сплошной, полусплошной или свободной среде в зависимости от места и схемы размещения вдоль на раме различно.

На основании приведенных зависимостей произведены расчеты и определены параметры размещения на раме парового культиватора:

- схема двухрядная с четным количеством рабочих органов;
- количество рабочих органов 6;
- ширина захвата машины 3 м;
- расстояние продольное между рабочими органами 52-54 см;
- расстояние поперечное между рабочими органами 48-50 см.

**Выводы.** Совершенствование рабочих органов парового культиватора может осуществляться путем коренной модернизации конструкции, полного отказа от стрельчатых лап. Предложенная конструкция нового рабочего органа не содержит стрельчатых лап, состоит из стойки с долотом и последовательно установленных на ней лево- и правосторонних плоскорезов.

Необходимым условием рационального размещения рабочих органов является выбор наименьшего из возможного их количества на раме культиватора, функционирующих в сплошной среде необработанной почвы.

При размещении рабочих органов в два и более ряда исключается забивание растительными остатками и почвой промежутков между соседними стойками. При этом тяговое сопротивление культиватора снижается ввиду сокращения количества ра-

бочих органов, функционирующих в сплошной среде неразрыхленной почвы.

Наиболее рациональной схемой размещения четного количества рабочих органов на раме парового культиватора является двухрядная с изменяемой шириной захвата. При этом половина рабочих органов функционирует в условиях сплошной среды, один – в полусплошной, а остальные – в свободной среде с наименьшим тяговым сопротивлением.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Mamkagh A. Effect of soil moisture, tillage speed, depth, ballast weight and, used implement on wheel slippage of the tractor: a review. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*. 2019. N9 (1). 1-7. DOI: 10.9734/AJAAR/2019/46706.
2. Panagos P., Borrelli P., Poesen J. et al. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*. 2015. N54. 438-447. DOI: 10.1016/j.envsci.2015.08.012.
3. Chappell A., Webb N. Using albedo to reform wind erosion modelling, mapping and monitoring. *Aeolian Research*. 2016. N23. 63-78. DOI: 10.1016/j.aeolia.2016.09.006.
4. Ахалая, Б.Х., Старовойтов С.И., Ценч, Ю.С. и др. Комбинированный агрегат с универсальным рабочим органом для поверхностной обработки почвы // *Техника и оборудование для села*. 2020. N8(278). С. 8-11. DOI: 10.33267/2072-9642-2020-8-8-11.
5. Botta G.F., Antille D.L., Bienvenido F. et al. Energy requirements for alleviation of subsoil compaction and the effect of deep tillage on sunflower (*Helianthus annuus L.*) yield in the western region of Argentina's rolling pampa. *Engineering for Rural Development*. 2019. N22. 174-178. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N216.
6. Helmana D., Lenskya I.M., Bonfilb D.J. Early prediction of wheat grain yield production from root-zone soil water content at heading using *Crop RS-Met*. *Field Crops Research*. 2019. N232. 11–23. DOI: 10.1016/j.fcr.2018.12.003.
7. Nakhaei M., Tafreshi A.M., Tafreshi G.M. A new approach in comparison and evaluation of the overall accuracy of six soil-water retention models using statistical benchmarks and fuzzy method. *Eurasian Soil Science*. 2021. N54 (5). 716-728. DOI: 10.1134/S1064229321050136.
8. Niu G., Shao L.-T., Sun D.A., Guo X. A simplified directly determination of soil-water retention curve from pore size distribution. *Geomechanics and Engineering*. 2020. N20 (5). 411-420. DOI: 10.12989/gae.2020.20.5.411.
9. Lachuga Y., Akhalaya B., Shogenov Y. et al. Tillage de-
- vice of precision processing with pulsed blows of compressed air. Lecture Notes in Networks and Systems book series (LNNS), Springer, Cham. 2023. 510.
10. 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 (1).
11. 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(1-2). 1-11. DOI: 10.1016/j.still.2019.104318.
12. Мяло В.В., Мяло О.В., Демчук Е.В. Обоснование основных параметров рабочего органа культиватора для сплошной обработки почвы // *Вестник Омского государственного аграрного университета*. 2019. N2 (34).
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. DOI: 10.3390/agriculture11111039.
14. Никонов М.В., Бунеев С.С., Шубкин С.Ю., Клапп А.В. Математическое обоснование схемы расположения рабочих органов на раме культиватора // *Агрпромышленные технологии Центральной России*. 2020. N2 (16). С. 98-103. DOI: 10.24888/2541-7835-2020-16-98-103.
15. Андреев В.Л., Дёмшин С.Л., Ильичёв В.В. и др. Многофункциональный почвообрабатывающий агрегат со сменными рабочими органами // *Вестник НГИЭИ*. 2018. N11 (90). С. 87-102. EDN: YQDNRR.
16. Ахалая Б.Х., Шогенов Ю.Х., Ценч Ю.С., Квас С.А. Развитие технологий полосной энергоресурсосберегающей обработки почвы // *Технический сервис машин*. 2018. Т. 132. С. 232-237. EDN: VLSWCQ.
17. Mudarisov S.G., Mudarisov I.I., Lobachevsky Ya.P. et al. Modeling the technological process of tillage. *Soil and Tillage Research*. 2019. Vol. 190 (2). 70-77. DOI: 10.1016/j.still.2018.12.004.

### REFERENCES

1. Mamkagh A. Effect of soil moisture, tillage speed, depth, ballast weight and, used implement on wheel slippage of the tractor: a review. *Asian Journal of Advances in Agricultural Research*. 2019. N9 (1). 1-7 (In English). DOI: 10.9734/AJAAR/2019/46706.
2. Panagos P., Borrelli P., Poesen J. et al. The new assessment of soil loss by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*. 2015. N54. 438-447 (In English). DOI: 10.1016/j.envsci.2015.08.012.
3. Chappell A., Webb N. Using albedo to reform wind erosion

- modelling, mapping and monitoring. *Aeolian Research*. 2016. N23. 63–78 (In English). DOI: 10.1016/j.aeolia.2016.09.006.
4. Akhalaia B.Kh., Starovoitov S.I., Tsench Yu.S. A combined unit fitted with a versatile working body for surface tillage. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2020. N8(278). 8-11 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2020-8-8-11.
  5. Botta G.F., Antille D.L., Bienvenido F. et al. Energy requirements for alleviation of subsoil compaction and the effect of deep tillage on sunflower (*Helianthus annuus L.*) yield in the western region of Argentina's rolling pampa. *Engineering for Rural Development*. 2019. N22. 174-178 (In English). DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N216.
  6. Helmana D., Lenskya I.M., Bonfilb D.J. Early prediction of wheat grain yield production from root-zone soil water content at heading using Crop RS-Met. *Field Crops Research*. 2019. N232. 11–23 (In English). DOI: 10.1016/j.fcr.2018.12.003.
  7. Nakhaei M., Tafreshi A.M., Tafreshi G.M. A new approach in comparison and evaluation of the overall accuracy of six soil-water retention models using statistical benchmarks and fuzzy method. *Eurasian Soil Science*. 2021. N54 (5). 716–728 (In English). DOI: 10.1134/S1064229321050136.
  8. Niu G., Shao L.-T., Sun D.A., Guo X. A simplified directly determination of soil-water retention curve from pore size distribution. *Geomechanics and Engineering*. 2020. N20 (5). 411-420 (In English). DOI: 10.12989/gae.2020.20.5.411.
  9. Lachuga Y., Akhalaya B., Shogenov Y. et al. tillage device of precision processing with pulsed blows of compressed air. *Lecture Notes in Networks and Systems book series (LNNS)*, Springer, Cham. 2023. 510. (In English).
  10. 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 (1). (In English).
  11. 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 (1-2). 1-11 (In English). DOI: 10.1016/j.still.2019.104318.
  12. Myalo V.V., Myalo O.V., Demchuk E.V. Foundation of the basic parameters of the working bodies of cultivators for continuous tillage. *Bulletin of Omsk State Agrarian University*. 2019. N2 (34). (In Russian).
  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. N11. 1039 (In English). DOI: 10.3390/agriculture11111039.
  14. Nikonov M., Buneev S., Shubkin S., Klapp A. Mathematical substantiation of the scheme of location of working bodies on the frame of a cultivator. *Agro-Industrial Technologies of Central Russia*. 2020. N2 (16). 98-103 (In Russian). DOI: 10.24888/2541-7835-2020-16-98-103.
  15. Andreev V.L., Dyomshin S.L., Ilyichev V.V. et al. Multifunctional soil-cultivating unit with replaceable working bodies. *Bulletin NGIEI*. 2018. N11 (90). 87–102 (In Russian). EDN: YQDNRR.
  16. Akhalaya B.Kh., Shogenov Yu.Kh., Tsench Ju.S., Kvas S.A. Improved technology for stripe energy resource-saving soil processing. *Machinery Technical Service*. 2018. Vol. 132. 232-237 (In Russian). EDN: VLSWCQ.
  17. Mudarisov S.G., Mudarisov I.I., Lobachevsky Ya.P. et al. Modeling the technological process of tillage. *Soil and Tillage Research*. 2019. Vol. 190(2). 70-77 (In English). DOI: 10.1016/j.still.2018.12.004.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Заявленный вклад соавторов:

Пархоменко Г.Г. – методология, проведение исследований, обработка экспериментальных данных, формирование общих выводов, визуализация;  
 Подлесный Д.С. – поиск и анализ литературы, обработка экспериментальных данных, визуализация, доработка текста;  
 Камбулов С.И. – концептуализация, научное руководство;  
 Рыков В.Б. – методология, поиск и анализ литературы, проведение исследований, визуализация;  
 Полушкин О.А. – концептуализация, научное руководство.  
*Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

### Coauthors' contribution:

Parkhomenko G.G. – methodology, conducting research, experimental data processing, formulation of general conclusions, visualization;  
 Podlesny D.S. – literature search and analysis, experimental data processing, visualization, text revision;  
 Kambulov S.I. – conceptualization, scientific supervision;  
 Rykov V.B. – methodology, literature search and analysis, conducting research, visualization;  
 Polushkin O.A. – conceptualization, scientific supervision.  
*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

26.06.2025  
 15.08.2025