



## Агротехнические и энергетические показатели почвообрабатывающих рабочих органов

Г. Г. Пархоменко<sup>1</sup>, И. В. Божко<sup>1\*</sup>, С. И. Камбулов<sup>1</sup>,  
В. И. Пахомов<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

\*i.v.bozhko@mail.ru

**Введение.** Одним из направлений сельскохозяйственного производства является получение продукции растениеводства. В то же время следует принимать во внимание все возможности снижения энерго- и трудозатрат, расходуемых на почвообрабатывающие операции. Этого можно достичь путем применения энергоэффективных почвообрабатывающих устройств.

**Материалы и методы.** В ходе исследований осуществлялась агротехническая и энергетическая оценка технологического процесса обработки почвы, выполняемого рабочими органами. Агротехническая оценка включает в себя определение показателей неравномерности глубины хода рабочих органов, крошения пласта, гребнистости, а также содержания эрозионноопасных частиц. В качестве энергетической оценки был принят показатель тягового сопротивления, создаваемого одним рабочим органом. Исследования проводились для различных комплектаций чизельного рабочего органа плоскорезной и криволинейной лапой и элементами, выполненными из полимера.

**Результаты исследования.** Получены данные агрооценки и тягового сопротивления чизельных рыхлителей по различным агрофонам: стерня озимой пшеницы с предварительным дискованием в один след, стерня озимого ячменя с предварительным дискованием в один след, а также по фону «черный пар».

**Обсуждение и заключение.** По итогам исследований установлено, что по показателям качества рабочие органы отвечают предъявляемым агротехническим требованиям по заданной глубине обработки 25–35 см. Выделяется чизель с криволинейной лапой по наибольшему наличию комков до 5 см (91–96 %). Высота гребня 6,8–8,0 см для всех вариантов рабочих органов. Установлено, что рабочие органы целесообразно применять для противозероной обработки почвы. По показателю сохранения растительных и пожнивных остатков преимуществом обладает чизель с криволинейной лапой, обеспечивающий их содержание больше на 9,5–28,6 %, чем с полимером 13,2–14,3 %. Наименьшее тяговое сопротивление 7,6 кН у чизеля с полимером, что ниже на 18,28 % по сравнению с рабочим органом, оснащенным плоскорезной лапой.

**Ключевые слова:** почвообрабатывающий рабочий орган, агротехнические показатели, энергетические показатели, полимерные материалы, глубокая обработка почвы, безотвальное рыхление

**Финансирование:** исследование выполнено в рамках государственной НИР.

© Пархоменко Г. Г., Божко И. В., Камбулов С. И., Пахомов В. И., 2021



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.  
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Агротехнические и энергетические показатели почвообрабатывающих рабочих органов / Г. Г. Пархоменко, И. В. Божко, С. И. Камбулов, В. И. Пахомов. – DOI 10.15507/2658-4123.031.202101.109-126 // Инженерные технологии и системы. – 2021. – Т. 31, № 1. – С. 109–126.

Original article

## Agrotechnical and Energy Performance of Tillage Tools

G. G. Parkhomenko<sup>a</sup>, I. V. Bozhko<sup>a\*</sup>, S. I. Kambulov<sup>a</sup>,  
V. I. Pakhomov<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Agricultural Research Center “Donskoy” (Zernograd, Russian Federation)

<sup>b</sup>Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

\*i.v.bozhko@mail.ru

**Introduction.** One of the areas of agricultural production is crop production. At the same time, it is necessary to take into account all available possibilities of reducing the energy consumption and labor required for tillage operations that can be achieved by using energy efficient tillage tools.

**Materials and Methods.** In the course of the research, an agrotechnical and energy assessment of the technological process of soil cultivation performed by tillage tools was carried out. The agrotechnical assessment includes identifying the indicators of unevenness of the tillage tool travel depth, soil pulverization, ridging, and the content of erosion threatening particles. As an energy assessment, the indicator of draught created by a tillage tool was taken. The researches were carried out for various configurations of the chisel cultivators with flat and curved hoes, and elements made of polymer.

**Results.** The data of agricultural assessment and draught of chisel cultivators were obtained for various agricultural backgrounds: winter wheat stubble with preliminary disking in one track, winter barley stubble with preliminary disking in one track, and autumn fallow on the background.

**Discussion and Conclusion.** According to the results of the research, it was found that, in terms of quality indicators, the tillage tools meet the agrotechnical requirements for a given processing depth of 25–35 cm. The operation of the chisel equipped with a curved hoe is characterized by the highest presence of clods up to 5 cm (91–96%). The ridge height was 6.8–8.0 cm for all tillage tools. It has been established that the tillage tools are advisable to be used for anti-erosion soil cultivation. In terms of preserving plant and crop residues, a chisel with a curved hoe providing their content by 9.5–28.6% more than with a polymer of 13.2–14.3%. The chisel with polymer has the smallest draught of 7.6 kN, which is 18.28% lower in comparison with tillage tools equipped with a flat hoe.

**Keywords:** tillage working body, agro technical indicators, energy indicators, polymeric materials, deep tillage, subsurface cultivation

**Funding:** The study was carried out as part of the state budget research.

**Conflict of interest:** The authors declare no conflict of interest.

**For citation:** Parkhomenko G.G., Bozhko I.V., Kambulov S.I., et al. Agrotechnical and Energy Performance of Tillage Tools. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2021; 31(1):109-126. DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.031.202101.109-126>

## Введение

Обработка почвы – очень важный технологический процесс сельхозпроизводства, направленный на получение продукции растениеводства [1].

Основной задачей в области механизации производства является создание научных основ для разработки техники нового поколения для осуществления высокопроизводительных технологий для приоритетного производства группы культур.

Существенная экономия энергии может быть достигнута путем выбора энергоэффективных почвообрабатывающих рабочих органов.

Ресурсосбережение в части состояния почвы определяется обобщенной характеристикой плодородия, которая заключается в способности обеспечивать возделываемые культуры необходимыми питательными веществами, водой и воздухом. Плодородие почвы зависит от ее состояния, которое количественно по своим свойствам оценивается твердостью, плотностью и влажностью.

Помимо этого при использовании почвообрабатывающих машин, обладающих высоким тяговым сопротивлением, для соблюдения требований экологической безопасности по техногенному разрушению почвы следует стремиться к снижению переуплотнения путем совершенствования конструкции [2; 3].

Известно, что большая часть используемой почвообрабатывающей техники устарела и требует больших затрат на обеспечение ее работоспособности.

Так, коэффициент обновления машин для мелкой обработки почвы составил 4,3 %, для основной – 4,6 %, что ниже требуемого в 2,5-3 раза.

Цель исследования – агрооценка и определение тягового сопротивления нового чизеля.

## Обзор литературы

В процессе разработки конструкции необходимым этапом является определе-

ние энергоемкости чизелевания, мерой которой является тяговое сопротивление рабочих органов. Определение закономерности изменения тягового сопротивления чизеля является сложной экспериментальной и теоретической задачей прежде всего из-за большого количества параметров, оказывающих влияние на сам процесс взаимодействия с почвой, имеющий случайный характер. Помимо этого возникают неточности при теоретическом расчете силы тяги, обусловленные тем, что математические модели (формулы) пренебрегают многими параметрами, которые влияют на процесс обработки. Это отчасти объясняется тем, что для решения необходимо установить ряд силовых характеристик, влияющих на функционирование рабочего органа при осуществлении технологического процесса обработки почвы, которые с большой степенью точности можно определить только в результате динамометрирования [4; 5]. Вызывает затруднение процесс установления коэффициента, учитывающего тип и свойства обрабатываемой среды [6]. Более адекватными реальному процессу являются результаты динамометрирования. Для этой цели был разработан регулируемый трехточечный динамометр [7]. Разработана контрольно-измерительная система рабочих характеристик трактора и навесных почвообрабатывающих машин [8]. Представлены результаты исследований тягового сопротивления системы измерения тягового сопротивления почвообрабатывающих машин [9; 10]. Выделено несколько методов измерения тягового сопротивления и скорости движения машины [11]. Все эти методы имеют преимущества и недостатки в зависимости от используемого трактора, навесной машины и условий эксплуатации. При измерении тягового сопротивления по трем точкам, как правило, наблюдаются большие погрешности результатов суммирования сил в горизон-

тальном, продольном и вертикальном направлениях [12]. В настоящее время научные исследования направлены на повышение точности оборудования для измерения тягового сопротивления [13].

В результате исследований получены регрессионные уравнения прогнозирования различных показателей технологического процесса почвообрабатывающих машин на суглинистой почве [14]. Также анализировались показатели технологического процесса почвообрабатывающих машин и характеристик трактора [15]. Определены показатели качества экспериментальных почвообрабатывающих рабочих органов с целью проверки соответствия агротехническим требованиям [16]. Представлены результаты исследования показателей почвообрабатывающих рабочих органов, таких как влажность и плотность почвы, гребнистость поверхности поля, степень крошения пласта [17]. Изучено влияние различных параметров рабочего органа, скорости движения, глубины рыхления и соотношения «глубина обработки / ширина захвата на тяговое сопротивление» [18]. Проанализировано влияние скорости (3,6; 5,4; 7,2; 9,0 и 10,8 км/ч) и глубины рыхления (10, 20 и 30 см) на тяговое сопротивление почвообрабатывающих машин [19]. Представлены результаты лабораторного исследования силовых характеристик рабочего органа, свидетельствующие о том, что на тяговое сопротивление большее влияние оказывают физико-механические свойства обрабатываемой среды, условия резания и степень затупления лезвия [20]. Результаты исследований показали, что чизель, используемый для разуплотнения нижних слоев почвы, характеризуется меньшим расходом топлива по сравнению с другими используемыми для этой цели машинами [21].

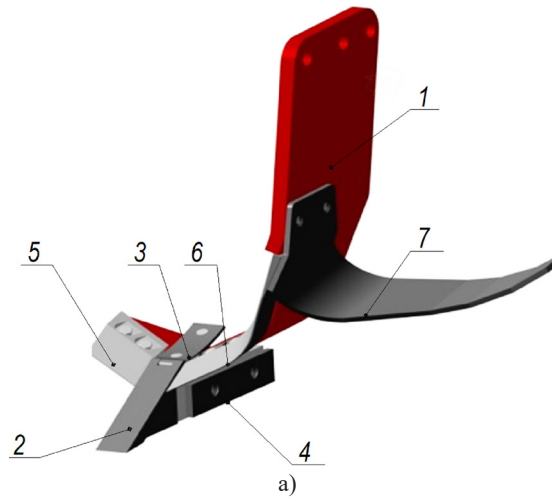
Установлено, что наибольшая твердость наблюдалась в опыте без обра-

ботки почвы [22]. Установлено, что при обработке почвы увлажненность повысилась на 16,8–31,8 мм по сравнению с агрофонами без обработки [23]. Несмотря на то, что самые высокие запасы влаги перед посевом зафиксированы без обработки (11,1 мм), ко времени возобновления весенней вегетации закономерности ее накопления изменились: по глубокому рыхлению 116,1 мм, без обработки 109,5 мм [24]. Результаты одного из исследований показывают, что твердость почвы, корневая архитектура и водопотребление тесно взаимосвязаны и определяют потенциал возделываемых культур для доступа к почвенным водным бассейнам [25]. Любая стратегия обработки почвы должна рассматриваться как часть компромисса между борьбой с сорными растениями и предотвращением эрозийных процессов [26]. Исследование показывает, что традиционная обработка почвы с небольшими энергозатратами обладает такими преимуществами, как снижение загрязнения окружающей среды гербицидами [27].

### **Материалы и методы**

В основу конструкции почвообрабатывающих рабочих органов заложен принцип трансформации различных взаимозаменяемых вариантов элементов для мелкого рыхления на одной криволинейной стойке типа параплау. Конструкция рабочего органа содержит криволинейную стойку с глубокорыхлителем в виде долота и оснащается, в зависимости от физико-механических свойств обрабатываемой среды и засоренности поля, плоскорезной либо криволинейной лапой или элементами из полимера (рис. 1).

Исследования проводились на глубине обработки почвы, устанавливаемой на 25, 30, 35 см, и при скорости движения, соответствующей I, II, III передачам трактора. Тяговое сопротивление измеряли посредством



Р и с. 1. Конструкция почвообрабатывающего рабочего органа: а) общий вид конструкции рабочего органа (1 – стойка; 2 – долото; 3 – комкодробитель; 4 – упорная плита; 5, 6 – лемешные лезвия; 7 – лапа); б) криволинейная и плоскорезная лапы; в) полимер

Fig. 1. Design of the tillage working body: a) general view of the design of the tillage working body (1 – stand; 2 – chisel; 3 – clod crusher; 4 – thrust plate; 5, 6 – share blades; 7 – hoe); б) curved and flat hoes; в) polymer



тензометрического звена, размещенного на экспериментальной установке перед рабочим органом (рис. 2).

Агрооценка включает определение агротехнических свойств или показателей качества, характеризует геометрию, изменения физико-механических свойств почвы при чизелевании и его влияние на обрабатываемую среду и растительный покров. Геометрия обрабатываемого слоя почвы характеризуется глубиной рыхления. Изменение физико-механических свойств обрабатываемого слоя почвы оценивается по величине крошения. Воздействие рабочих органов на растительный покров характеризуется степенью сохранения стерни.

Основным параметром энергетической оценки был принят показатель

тягового сопротивления, создаваемого одним рабочим органом, для уточнения параметров разрабатываемого агрегата при дальнейшем проектировании.

Существуют различные методы и средства измерения и контроля глубины обработки почвы рабочих органов, имеющие достоинства и недостатки [28; 29]. Основным недостатком является сложность и ограниченность применения. Наиболее простым и доступным средством измерения глубины обработки почвы после прохода рабочих органов как для научных исследований, так и в производственных условиях является измерительная линейка, которая входит в перечень, рекомендуемый машиноиспытательной станцией (МИС).



Р и с. 2. Шарнирное тензометрическое звено  
F i g. 2. Articulated strain gauge link

Количество пожнивных и растительных остатков определялось по их массе после прохода рабочих органов в сравнении с исходным числом. Для этого на поверхность почвы укладывается рамка или палетка  $0,5 \times 0,5 \text{ м}^2$ , с указанной площади собирается стерня на поверхности (рис. 3).

Это же оборудование используется при определении размеров комков почвы (качества крошения). Суммарное количество клеток принимается за 100 %. Определяется сумма комков, размер которых превышает контур клетки  $K_{>50\text{мм}}$ . Число комков до 5 см  $K_{<50\text{мм}}$  определяется по формуле:

$$K_{<50\text{мм}} = 100 - K_{>50\text{мм}}. \quad (1)$$

Измерения проводятся в трех повторностях посредством наложения палетки в различных местах после прохода рабочих органов.

Высота гребня измеряется линейкой или гибким шнуром.

### Результаты исследования

Исследуемая почва по типу и механическому составу представлена черноземом обыкновенным малогумусным на лессовидных глинах. Рельеф местности ровный, уклон поля отсутствует. Исследования проводились на трех различных фонах: на стерне озимой пшеницы с предварительным дискованием в один след (I); на стерне озимого ячменя с предварительным дискованием в один след (II); на черном паре (III).

Микрорельеф колебался от 0,7 до 2,8 см. Наиболее слабо выражен микрорельеф поля на фоне III – черный пар (табл. 1).

Твердость по результатам исследований в основном не превышала допустимую по СТО АИСТ 4.6-2018, за исключением обработки почвы по стерне озимой пшеницы с предварительным дискованием в один след (I), где по данному показателю фон является экстремальным. Влажность соответствовала норме (до 30 %). Результаты агрооценки чизеля представлены в таблицах 2–8.



Р и с. 3. Оборудование для исследования размеров комков и сохранения стерни

F i g. 3. Equipment for the study of clod size and stubble preservation

Т а б л и ц а 1  
T a b l e 1

**Перечень свойств обрабатываемой среды**  
**List of properties of the processed soil**

Наименование показателя / Indicator name	Значение показателя для фона / Indicator value for background		
	I	II	III
Микрорельеф поля продольный, см / Longitudinal field microrelief, cm	2,10	1,90	0,70
Микрорельеф поля поперечный, см / Microrelief of the field is transverse, cm	2,80	2,50	1,80
Твердость почвы, МПа / Soil hardness, MPa	< 5	< 3	< 20
Влажность (абсолютная) в слое почвы 0–5 см, % / Moisture (absolute) in the soil layer 0–5 cm, %	24,80	22,40	18,70
Влажность (абсолютная) в слое почвы (5–25) ÷ 35 см, % / Moisture (absolute) in the soil layer (5–25) ÷ 35 cm, %	27,80	25,30	20,10
Количество стерни на 0,25 м <sup>2</sup> до обработки почвы, г / Stubble amount per 0.25 m <sup>2</sup> before tillage, g	60,50	71,40	–
Содержание эрозионноопасных частиц (размером менее 1 мм) до чизелевания, % / Content of erosion threatening particles (less than 1 mm in size) before chiseling, %	38,15	36,71	44,80

Т а б л и ц а 2  
T a b l e 2

**Результаты исследования глубины обработки почвы (фон I)**  
**Results of the study of the tillage depth (background I)**

Наименование показателя / Indicator name	Значение показателя для варианта рабочего органа / The value of the indicator for the variant of the tillage working body								
	с плоскорезом / with flat cutter			криволинейного / curvilinear			с полимером / with polymer		
Глубина в среднем, см / Average depth, cm	25,0	29,3	36,3	25,1	30,1	35,3	26,0	31,4	34,5
Допускаемое отклонение, ±см / Tolerance, ±cm	< 2,5	< 3,0	< 3,5	< 2,5	< 3,0	< 3,5	< 2,5	< 3,0	< 3,5
Стандартное отклонение, ±см / Standard deviation, ±cm	1,5	1,5	3,7	1,4	2,9	3,4	2,4	2,8	3,2
Коэффициент вариации, % / The coefficient of variation, %	5,9	5,1	10,0	5,5	9,6	9,6	9,2	8,9	9,3
Ошибка, ±см / Error, ±cm	0,3	0,3	0,8	0,3	0,6	0,8	0,5	0,6	0,7
Точность, % / Accuracy, %	1,2	1,0	2,2	1,2	2,0	2,2	1,9	1,9	2,0



**Результаты исследования глубины обработки почвы (фон II)**  
**Results of the study of the tillage depth (background II)**

Наименование показателя / Indicator name	Значение показателя для варианта рабочего органа / The value of the indicator for the variant of the tillage working body								
	с плоскорезом / with flat cutter			криволинейного / curvilinear			с полимером / with polymer		
Глубина в среднем, см / Average depth, cm	25,8	29,8	35,0	25,0	30,1	35,5	25,5	29,9	34,8
Допускаемое отклонение, ±см / Tolerance, ±cm	< 2,5	< 3,0	< 3,5	< 2,5	< 3,0	< 3,5	< 2,5	< 3,0	< 3,5
Стандартное отклонение, ±см / Standard deviation, ±cm	2,4	0,9	1,4	2,3	1,1	1,3	1,5	1,2	1,6
Коэффициент вариации, % / The coefficient of variation, %	9,3	3,1	4,1	9,2	3,8	3,7	5,9	4,0	4,5
Ошибка, ±см / Error, ±cm	0,5	0,2	0,3	0,5	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4
Точность, % / Accuracy, %	1,9	0,7	0,9	2,0	0,7	0,8	1,2	1,0	1,1

**Результаты исследования глубины обработки почвы (фон III)**  
**Results of the study of the tillage depth (background III)**

Наименование показателя / Indicator name	Значение показателя для варианта рабочего органа / The value of the indicator for the variant of the tillage working body								
	с плоскорезом / with flat cutter			криволинейного / curvilinear			с полимером / with polymer		
Глубина в среднем, см / Average depth, cm	27,7	32,3	37,4	27,3	31,5	37,2	28,1	31,4	37,1
Допускаемое отклонение, ±см / Tolerance, ±cm	< 2,5	< 3,0	< 3,5	< 2,5	< 3,0	< 3,5	< 2,5	< 3,0	< 3,5
Стандартное отклонение, ±см / Standard deviation, ± cm	1,5	3,0	3,5	1,0	0,9	3,5	1,2	1,1	1,6
Коэффициент вариации, % / The coefficient of variation, %	5,6	9,9	9,6	3,5	2,8	9,9	5,4	3,5	4,5
Ошибка, ±см / Error, ±cm	0,3	0,7	0,8	0,2	0,2	0,8	0,3	0,2	0,4
Точность, % / Accuracy, %	1,1	2,2	2,1	0,7	0,6	2,2	1,1	0,6	1,1

Т а б л и ц а 5  
T a b l e 5

**Исследование размеров комков**  
**Study of the size of clods**

Наименование показателя / Indicator name	Значение показателя для варианта рабочего органа (фон I / фон II / фон III) / The value of the indicator for the variant of the tillage working body (background I / background II / background III)		
	с плоскорезом / with flat cutter	криволинейного / curvilinear	с полимером / with polymer
Число комков менее 5 см, % / The number of lumps less than 5 cm, %	85,1 / 87,9 / 90,6	91,0 / 91,8 / 95,7	87,3 / 88,4 / 94,8
	Допускаемое по агротребованиям – не менее 60 % / Allowed for agricultural requirements – not less than 60%		

Т а б л и ц а 6  
T a b l e 6

**Результаты исследования гребнистости**  
**Ridge test results**

Наименование показателя / Indicator name		Значение показателя для варианта рабочего органа и глубины обработки почвы, см / The value of the indicator for the variant of the tillage working body and tillage depth, cm								
		с плоскорезом / with flat cutter			криволинейного / curvilinear			с полимером / with polymer		
		25,0	29,3	36,3	25,1	30,1	35,3	26,0	31,4	34,5
Гребнистость / Ridge	Допускаемая, см / Allowable, cm	< 7,5	< 9,0	< 10,5	< 7,5	< 9,0	< 10,5	< 7,5	< 9,0	< 10,5
	фон I, см / background I, cm	7,3	7,5	8,0	7,3	7,4	8,2	7,4	7,5	7,9
	фон II, см / background II, cm	25,8	29,8	35,0	25,0	30,1	35,5	25,5	29,9	34,8
		6,8	7,1	7,4	6,9	6,9	7,1	7,1	7,6	7,8
	фон III, см / background III, cm	27,7	32,3	37,4	27,3	31,5	37,2	28,1	31,4	37,3
		7,1	6,9	7,3	6,9	6,9	7,2	6,9	7,0	7,2

Т а б л и ц а 7  
T a b l e 7

**Результаты исследования пожнивных и растительных остатков**  
**Results of the study of crop and plant residues**

Наименование показателя и фона / Indicator and background name	Значение показателя для варианта рабочего органа / The value of the indicator for the variant of the working body		
	с плоскорезом / with flat cutter	криволинейного / curvilinear	с полимером / with polymer
Сохранение растительных и пожнивных остатков, % / Preservation of plant and crop residues, %	фон I / background I		
	79	91	65
	фон II / background II		
	72	84	76
Допускаемое по агротехническим требованиям сохранение растительных и пожнивных остатков – не менее 60 % / Preservation of plant and crop residues allowed for agrotechnical requirements – at least 60%			

Основной задачей механической обработки почвы является изменение ее структуры. Структура почвы является главным фактором, регулирующим отношение почвы к влаге, воздуху и позволяющим обеспечить наиболее благоприятное соотношение твердой, жидкой и газообразной фаз. Помимо этого интенсивность протекания микробиологических процессов находится в непосредственной функциональной зависимости от структуры почвы. Почвообрабатывающие рабочие органы, в зависимости от конструктивных особенностей, оказывают различное влияние на изменение структуры почвы. Изменение структуры почвы при воздействии на нее рабочих органов оценивается качеством крошения пласта.

Структура поверхности обработанного слоя почвы влияет на интенсивность протекания физико-химических процессов всего пласта. На водопроницаемость, аэрацию, испарение влаги оказывает непосредственное влияние характер обработанной поверхности почвы. Характер обработанной поверхности почвы оценивается таким

показателем, как гребнистость (высота гребня). При значительной неровности поля после обработки почвы, которая характеризуется гребнистостью, возникает увеличение удельной поверхности комков, что влечет за собой потерю влаги вследствие ее испарения. Помимо этого повышенная гребнистость приводит к оголению дна борозды, что недопустимо в условиях недостаточного увлажнения. При противоэрозионной обработке почвы чизельными рабочими органами допускается определенный процент гребнистости. Наличие гребней на поверхности почвы в данном случае необходимо для накопления и сбережения влаги и препятствия возникновения эрозионных процессов. Однако значительная неровность поля не позволяет применять посевные машины без дополнительной обработки почвы.

Математическое ожидание тягового сопротивления почвообрабатывающего рабочего органа с плоскорезом составило 9,30 кН, криволинейного – 8,04 кН, с полимерными материалами – 7,60 кН. Результаты при соответствующей глубине и скорости приведены в таблице 9.

Т а б л и ц а 8

T a b l e 8

## Результаты исследования эрозионноопасных частиц

## Results of studying erosion threatening particles

Наименование показателя / Indicator name	Значение показателя для варианта рабочего органа / The value of the indicator for the variant of the tillage working body		
	с плоскорезом / with flat cutter	криволинейного / curvilinear	с полимером / with polymer
Изменение содержания эрозионноопасных частиц (менее 1 мм) в поверхностном слое (0–5 см) почвы, % / Change in the content of erosion threatening particles (less than 1 mm) in the surface layer (0–5 cm) of the soil, %	фон I / background I		
	снижается на 13,8 / decreases by 13.8	снижается на 14,9 / decreases by 14.9	снижается на 14,0 / decreases by 14.0
	фон II / background II		
	снижается на 11,9 / decreases by 11.9	снижается на 12,5 / decreases by 12.5	снижается на 11,3 / decreases by 11.3
	фон III / background III		
	снижается на 5,3 / decreases by 5.3	снижается на 6,3 / decreases by 6.3	снижается на 5,5 / decreases by 5.5
По агротехническим требованиям после прохода – не должно возрастать / According to agrotechnical requirements after the passage – should not increase			

**Тяговое сопротивление чизельных рабочих органов  
Draught of chisel working bodies**

Наименование показателя / Indicator name	Значение показателя для варианта рабочего органа / The value of the indicator for the variant of the working body		
	с плоскорезом / with flat cutter	криволинейного / curvilinear	с полимером / with polymer
Тяговое сопротивление, кН / Traction resistance, kN	9,30	8,04	7,60
Снижение тягового сопротивления, % / Decrease in traction resistance, %	–	13,56	18,28

### Обсуждение и заключение

Анализ данных свидетельствует о выполнении заданных агротехнических показателей почвообрабатывающими рабочими органами с допусаемым отклонением. Исключение составляет чизель с плоскорезной лапой при функционировании по стерне озимой пшеницы на глубину 35 см ( $\pm 3,7$  см при допусаемом  $\pm 3,5$  см). При этом точность составила до 2,2 %.

Наиболее высокое качество крошения обеспечивается криволинейной лапой комков до 5 см (91,0–95,7 %), то есть до 6,5 % выше, чем у аналогов. Рабочий орган с полимером обеспечивает качество крошения 87,4–94,8 % комков до 5 см, что на 1,0–4,1 % ниже, чем криволинейный. При функционировании на фоне «черный пар» обеспечивается наиболее высокое качество крошения почвы всеми рабочими органами (90,6–95,7 %). Изменение режимов работы не оказало существенного влияния на качество крошения, что можно объяснить достижением предела разрушения пласта почвы при данных условиях функционирования.

Чизельные рабочие органы по высоте гребня обеспечивают примерно

равные показатели качества 6,8–8,0 см. С увеличением глубины обработки наблюдается некоторый незначительный рост гребнистости.

Наибольшее количество растительных и пожнивных остатков сохраняется после прохода чизеля с криволинейной лапой (больше на 9,5–28,6 %, чем с полимером, и на 13,2–14,3 %, чем с плоскорезной лапой). При этом стерни озимого ячменя сохраняются больше у всех рабочих органов, за исключением чизеля с плоскорезной лапой.

Перемещение пыли из поверхностного слоя вглубь пласта, несмотря на прилипание их к полимеру, осуществляется в том же объеме, как и у аналогов. Рабочие органы приводят к снижению содержания эрозионноопасных частиц в поверхностном слое почвы на 5,3–14,9 %. Наибольшее их снижение (на 11,1–14,9 %) наблюдается на стерневых фонах на равном уровне у всех рабочих органов.

Наименьшее тяговое сопротивление (7,6 кН) у чизеля с полимером, что меньше на 18,28 % по сравнению с плоскорезной лапой.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Mamkagh, A. M. Effect of Soil Moisture, Tillage Speed, Depth, Ballast Weight and, Used Implementation on Wheel Slippage of the Tractor: A Review / A. M. Mamkagh. – DOI 10.9734/AJAAR/2019/46706 //

Asian Journal of Advances in Agricultural Research. – 2019. – Vol. 9, Issue 1. – Pp. 1–7. – URL: <http://www.sciencedomain.org/abstract/28580> (дата обращения: 04.02.2021).

2. **Гуреев, И. И.** Экологическая безопасность комплексной механизации агротехнологий возделывания сельскохозяйственных культур / И. И. Гуреев. – DOI 10.24411/0235-2451-2019-10515 // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33, № 5. – С. 62–64. – URL: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10515> (дата обращения: 04.02.2021). – Рез. англ.

3. **Пархоменко, Г. Г.** Экологически безопасная эксплуатация технических средств в условиях физической деградации почвы / Г. Г. Пархоменко, С. Г. Пархоменко // Технический сервис машин. – 2019. – № 2 (135). – С. 40–46. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38537510> (дата обращения: 04.02.2021). – Рез. англ.

4. **Юнусов, Г. С.** Обеспеченность растениеводства почвообрабатывающей техникой: состояние и перспективы / Г. С. Юнусов, М. М. Ахмедова, А. Ф. Жук. – DOI 10.12737/article\_5afc15a191d8c6.03289880 // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2018. – № 1 (48). – С. 132–137. – URL: <https://naukaru.ru/en/nauka/article/21020/view> (дата обращения: 04.02.2021). – Рез. англ.

5. Анализ энергоёмкости процесса вспашки почвы мотоблоком в агрегате с лемешно-отвальным плугом / В. Ф. Купряшкин, А. С. Уланов, Н. И. Наумкин [и др.]. – DOI 10.15507/2658-4123.029.201903.414-427 // Инженерные технологии и системы. – 2019. – Т. 29, № 3. – С. 414–427. – URL: <http://vestnik.mrsu.ru/index.php/en/articles2-en/84-19-3/721-10-15507-0236-2910-029-201903-6> (дата обращения: 04.02.2021). – Рез. англ.

6. **Пархоменко, С. Г.** Автосцепка для динамометрирования навесных сельскохозяйственных машин / С. Г. Пархоменко // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 3. – С. 165–167. – URL: <https://clck.ru/T8rWM> (дата обращения: 04.02.2021).

7. A Novel Three-Point Hitch Dynamometer to Measure the Draft Requirement of Mounted Implements / M. Askari, M. H. Komarizade, A. M. Nikbakht. – DOI 10.17221/16/2011-RAE // Research in Agricultural Engineering. – 2011. – Vol. 57, Issue 4. – Pp. 128–136. – URL: <https://www.agriculturejournals.cz/web/rae.htm?volume=57&firstPage=128&type=publishedArticle> (дата обращения: 04.02.2021).

8. **Al-Suhaibani, S. A.** Development and Evaluation of Tractors and Tillage Implements Instrumentation System / S. A. Al-Suhaibani, A. A. Al-Janobi, Y. N. Al-Majhadi. – DOI 10.3844/ajeassp.2010.363.371 // American Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2010. – Vol. 3, Issue 2. – Pp. 363–371. – URL: <http://www.thescipub.com/abstract/10.3844/ajeassp.2010.363.371> (дата обращения: 04.02.2021).

9. **Пархоменко, С. Г.** Динамометрирование навесных сельскохозяйственных машин / С. Г. Пархоменко, Г. Г. Пархоменко // Труды ГОСНИТИ. – 2016. – Т. 124, № 1. – С. 125–129. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27021206> (дата обращения: 04.02.2021). – Рез. англ.

10. Design and Construction of Three Point Hitch Device for Measuring Draft of Tillage Implement-Data Acquisition and Post Processing Analysis / M. Kostić, D. Z. Rakić, H. H. Ličen, N. C. Malinović // Journal of Food, Agriculture & Environment. – 2014. – Vol. 1212, Issue 2. – Pp. 1300–1307. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/265789995\\_Design\\_and\\_construction\\_of\\_three\\_point\\_hitch\\_device\\_for\\_measuring\\_draft\\_of\\_tillage\\_implement\\_-Data\\_acquisition\\_and\\_post\\_processing\\_analysis](https://www.researchgate.net/publication/265789995_Design_and_construction_of_three_point_hitch_device_for_measuring_draft_of_tillage_implement_-Data_acquisition_and_post_processing_analysis) (дата обращения: 04.02.2021).

11. **Mamkagh, A. M.** Review of Fuel Consumption, Draft Force and Ground Speed Measurements of the Agricultural Tractor during Tillage Operations / A. M. Mamkagh. – DOI 10.9734/ajarr/2019/v3i430093 // Asian Journal of Advanced Research and Reports. – 2019. – Vol. 3, Issue 4. – Pp. 1–9. – URL: <https://www.journalajarr.com/index.php/AJARR/article/view/30093> (дата обращения: 04.02.2021).

12. **Пархоменко, С. Г.** Измерение силы тяги на крюке трактора в агрегате с навесной сельскохозяйственной машиной / С. Г. Пархоменко, Г. Г. Пархоменко // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – № 4. – С. 15–19. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25871252> (дата обращения: 04.02.2021). – Рез. англ.

13. **Федоренко, В. Ф.** Метод цифровой фильтрации при определении тягового усилия сельскохозяйственных тракторов / В. Ф. Федоренко, В. Е. Таркивский // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 1. – С. 8–10. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37077512> (дата обращения: 04.02.2021). – Рез. англ.



14. Development of Empirical Regression Equations for Predicting the Performances of Disc Plough and Harrow in Clay-Loam Soil / O. Oduma, S. I. Oluka, J. Ch. Edeh, P. Ehiomogoe // *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. – 2019. – Vol. 21, Issue 3. – Pp. 18–25. – URL: <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/5390> (дата обращения: 04.02.2021).

15. **Bietresato, M.** Ideation, Realization and Experimentation of Prototype Device for Measuring Farm Tractor Fuel Consumption during Dyno Tests / M. Bietresato, F. Mazzetto. – DOI [10.22616/ERDev2018.17.N446](https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N446) // *Proceedings of Conference: Engineering for Rural Development*, 23–25 May 2018, Jelgava. – Jelgava, 2018. – Pp. 362–372. – URL: <http://www.tf.llu.lv/conference/proceedings2018/Papers/N446.pdf> (дата обращения: 04.02.2021).

16. **Сыромятников, Ю. Н.** Показатели качества работы почвообрабатывающей рыхлительно-сепарирующей машины / Ю. Н. Сыромятников. – DOI [10.22314/2073-7599-2018-12-3-38-44](https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-3-38-44) // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. – 2018. – Т. 12, № 3. – С. 38–44. – URL: <https://www.vimsmit.com/jour/article/view/250> (дата обращения: 04.02.2021). – Рез. англ.

17. Исследование работы игольчатой бороны с радиально установленными иглами на дисках / В. А. Кондрашов, М. М. Ковалев, Г. А. Перов, И. В. Сизов. – DOI [10.33267/2072-9642-2019-10-14-18](https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-10-14-18) // *Техника и оборудование для села*. – 2019. – № 10. – С. 14–18. – URL: <https://rosinformagrotech.ru/data/tos/content/mera-268-3> (дата обращения: 04.02.2021). – Рез. англ.

18. **Shahgholi, Gh.** Dar Kanat Geometrisinin Ayırık Eleman Yöntemi Kullanılarak Toprak Bozulma Derinliği ve Çekme Kuvveti Üzerindeki Etkilerinin Modellenmesi / Gh. Shahgholi, N. Kanyawi, D. Kalandari. – DOI [10.29133/yyutbd.429950](https://doi.org/10.29133/yyutbd.429950) // *Yüzüncü Yıl University Journal of Agricultural Sciences*. – 2019. – Vol. 29, Issue 1. – Pp. 24–33. – URL: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyutbd/issue/44253/429950> (дата обращения: 04.02.2021). – Рез. англ.

19. **Okoko, P.** Draft and Power Requirements for Some Tillage Implements Operating in Clay Loam Soil / P. Okoko, E. A. Ajav, W. A. Olosunde // *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. – 2018. – Vol. 20, No. 1. – URL: <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/4563> (дата обращения: 04.02.2021).

20. Результаты лабораторных исследований почворезущих рабочих органов / И. В. Лискин, Я. П. Лобачевский, Д. А. Миронов [и др.]. – DOI [10.22314/2073-7599-2018-12-4-41-47](https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-4-41-47) // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. – 2018. – Т. 12, № 4. – С. 41–47. – URL: <https://www.vimsmit.com/jour/article/view/265> (дата обращения: 04.02.2021). – Рез. англ.

21. Energy Requirements for Alleviation of Subsoil Compaction and the Effect of Deep Tillage on Sunflower (*Helianthus Annus L.*) Yield in the Western Region of Argentina's Rolling Pampa / G. F. Botta, D. L. Antille, F. Bienvenido [et al.]. – DOI [10.22616/ERDev2019.18.N216](https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N216) // *Proceedings of Conference: Engineering for Rural Development*, 22–24 May 2019, Jelgava. – Jelgava, 2019. – Pp. 174–178. – URL: <http://www.tf.llu.lv/conference/proceedings2019/Papers/N216.pdf> (дата обращения: 04.02.2021).

22. Rotary Tillage Effects on Some Selected Physical Properties of Fine Textured Soil in Wetland Rice Cultivation in Malaysia / M. Mairghany, A. Yahya, N. M. Adam [et al.]. – DOI [10.1016/j.still.2019.104318](https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104318) // *Soil and Tillage Research*. – 2019. – Vol. 194. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198718314326?via%3Dihub> (дата обращения: 04.02.2021).

23. Снижение потерь почвенной влаги на испарение / Ю. А. Савельев, О. Н. Кухарев, Н. П. Ларюшин [и др.]. – DOI [10.22314/2073-7599-2018-12-1-42-47](https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-1-42-47) // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. – 2018. – Т. 12, № 1. – С. 42–47. – URL: <https://www.vimsmit.com/jour/article/view/228> (дата обращения: 04.02.2021). – Рез. англ.

24. Эффективность различных способов основной обработки почвы и прямого посева при возделывании озимой пшеницы на черноземных почвах / Д. В. Дубовик, В. И. Лазарев, А. Я. Айдиев, Б. С. Ильин. – DOI [10.24411/0235-2451-2019-11205](https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-11205) // *Достижения науки и техники АПК*. – 2019. – Т. 33, № 12. – С. 26–29. – URL: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-11205> (дата обращения: 04.02.2021). – Рез. англ.

25. Feedbacks between Soil Penetration Resistance, Root Architecture and Water Uptake Limit Water Accessibility and Crop Growth – A Vicious Circle / T. Colombi, L. Ch. Torres, A. Walter, T. Keller. – DOI [10.1016/j.scitotenv.2018.01.129](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.129) // *Science of The Total Environment*. –

2018. – Vol. 626. – Pp. 1026–1035. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718301517?via%3Dihub> (дата обращения: 04.02.2021). – Рез. англ.

26. **Melland, A. R.** Effects of Strategic Tillage on Short-Term Erosion, Nutrient Loss in Runoff and Greenhouse Gas Emissions / A. R. Melland, D. L. Antille, Y. P. Dang. – DOI 10.1071/SR16136 // Soil Research. – 2016. – Vol. 55, Issue 3. – URL: <https://www.publish.csiro.au/sr/SR16136> (дата обращения: 04.02.2021).

27. Strategic Tillage in Conservation Agricultural Systems of North-Eastern Australia: Why, Where, When and How? / Y. P. Dang, A. Balzer, M. Crawford [et al.]. – DOI 10.1007/s11356-017-8937-1 // Environmental Science and Pollution Research. – 2018. – Vol. 25, Issue 2. – Pp. 1000–1015. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-017-8937-1> (дата обращения: 04.02.2021).

28. **Федоренко, В. Ф.** Исследование методов и технических средств для измерения глубины обработки почвы при испытаниях почвообрабатывающих машин / В. Ф. Федоренко, И. М. Киреев, В. О. Марченко. – DOI 10.33267/2072-9642-2019-5-12-17 // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 5. – С. 12–17. – URL: <https://rosinformagrotech.ru/data/tos/content/mera-263-2> (дата обращения: 04.02.2021). – Рез. англ.

29. **Трубицын, Н. В.** Беспроводное устройство для измерения глубины хода рабочих органов сельскохозяйственных машин / Н. В. Трубицын, В. Е. Таркинский. – DOI 10.33267/2072-9642-2019-3-13-15 // Техника и оборудование для села. – 2019. – № 3. – С. 13–15. – URL: <https://rosinformagrotech.ru/data/tos/content/mera-261-3> (дата обращения: 04.02.2021). – Рез. англ.

*Поступила 14.08.2020; одобрена после рецензирования 12.10.2020; принята к публикации 26.10.2020*

*Об авторах:*

**Пархоменко Галина Геннадьевна**, ведущий научный сотрудник лаборатории механизации полеводства отдела механизации растениеводства ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (347740, Российская Федерация, г. Зерноград, Научный городок, д. 3), кандидат технических наук, Researcher ID: D-2633-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1944-216X>, [parkhomenko.galya@yandex.ru](mailto:parkhomenko.galya@yandex.ru)

**Божко Игорь Владимирович**, младший научный сотрудник лаборатории механизации полеводства отдела механизации растениеводства ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (347740, Российская Федерация, г. Зерноград, Научный городок, д. 3), кандидат технических наук, Researcher ID: E-9518-2016, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8423-4079>, Scopus ID: 57204682997, [i.v.bozhko@mail.ru](mailto:i.v.bozhko@mail.ru)

**Камбулов Сергей Иванович**, главный научный сотрудник лаборатории механизации полеводства отдела механизации растениеводства ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» (347740, Российская Федерация, г. Зерноград, Научный городок, д. 3), доктор технических наук, Researcher ID: A-6156-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8712-1478>, Scopus ID: 57207655797, [kambulov.s@mail.ru](mailto:kambulov.s@mail.ru)

**Пахомов Виктор Иванович**, заведующий кафедрой технологий и оборудования переработки продукции АПК ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет» (344000, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1), доктор технических наук, профессор, Researcher ID: Y-7085-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8715-0655>, [vnipmtim@gmail.com](mailto:vnipmtim@gmail.com)

*Заявленный вклад соавторов:*

Г. Г. Пархоменко – постановка задачи, определение методологии исследования, сбор аналитических и практических материалов по теме исследования, анализ научных источников по теме исследования, критический анализ и доработка решения.

И. В. Божко – анализ и доработка текста.

С. И. Камбулов – научное руководство, постановка задачи, критический анализ и доработка решения.

В. И. Пахомов – формулирование концепции решения.

**Благодарности:** авторы выражают признательность анонимным рецензентам.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*

## REFERENCES

1. Mamkagh A.M. 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; 9(1):1-7. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.9734/AJAAR/2019/46706>
2. Gureev I.I. Environmental Safety of Complex Mechanization of Agricultural Crops Cultivation Technologies. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AIC*. 2019; 33(5):62-64. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10515>
3. Parkhomenko G.G., Parkhomenko S.G. Ecologically Safe Operation of Technical Facilities in Conditions of Physical Degradation of Soil. *Tekhnicheskiiy servis mashin = Technical Service of Machines*. 2019; (2):40-46. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38537510> (accessed 04.02.2021). (In Russ.)
4. Yunusov G.S., Akhmadeeva M.M., Zhuk A.F. Security of Crop Production of Soil-Processing Technique: Status and Prospects. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Kазan State Agrarian University Bulletin*. 2018; (1):132-137. (In Russ.) DOI: [https://doi.org/10.12737/article\\_5afcl15a191d8c6.03289880](https://doi.org/10.12737/article_5afcl15a191d8c6.03289880)
5. Kupryashkin V.F., Ulanov A.S., Naumkin N.I., et al. Analysis of Energy Consumption during Plowing Using a Motor-Block with Moldboard Plow. *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy = Engineering Technologies and Systems*. 2019; 29(3):414-427. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.029.201903.414-427>
6. Parkhomenko S.G. [Auto Coupler for Dynamometer of Mounted Agricultural Machines]. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii = Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2018; (3):165-167. Available at: <https://clck.ru/T8rWM> (accessed 04.02.2021). (In Russ.)
7. Askari M., Komarizade M.H., Nikbakht A.M. A Novel Three-Point Hitch Dynamometer to Measure the Draft Requirement of Mounted Implements. *Research in Agricultural Engineering*. 2011; 57(4):128-136. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.17221/16/2011-RAE>
8. Al-Suhaibani S.A., Al-Janobi A.A., Al-Majhadi Y.N. Development and Evaluation of Tractors and Tillage Implements Instrumentation System. *American Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2010; 3(2):363-371. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.3844/ajeassp.2010.363.371>
9. Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. Dynamometry of Mounted Agricultural Machinery. *Trudy GOSNITI = Works of GOSNITI*. 2016; 124(1):125-129. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27021206> (accessed 04.02.2021). (In Russ.)
10. Kostić M., Rakić D.Z., Ličen H.H., et al. Design and Construction of Three Point Hitch Device for Measuring Draft of Tillage Implement-Data Acquisition and Post Processing Analysis. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 2014; 1212(2):1300-1307. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/265789995\\_Design\\_and\\_construction\\_of\\_three\\_point\\_hitch\\_device\\_for\\_measuring\\_draft\\_of\\_tillage\\_implement\\_-Data\\_acquisition\\_and\\_post\\_processing\\_analysis](https://www.researchgate.net/publication/265789995_Design_and_construction_of_three_point_hitch_device_for_measuring_draft_of_tillage_implement_-Data_acquisition_and_post_processing_analysis) (accessed 04.02.2021). (In Eng.)
11. Mamkagh A.M. Review of Fuel Consumption, Draft Force and Ground Speed Measurements of the Agricultural Tractor during Tillage Operations. *Asian Journal of Advanced Research and Reports*. 2019; 3(4):1-9. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.9734/ajarr/2019/v3i430093>
12. Parkhomenko S.G., Parkhomenko G.G. Measurement of Tractive Effort at the Drawbar of Tractor in Aggregate with Mounted Agricultural Machine. *Traktory i selkhoz mashiny = Tractors and Agricultural Machinery*. 2016; (4):15-19. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25871252> (accessed 04.02.2021). (In Russ.)
13. Fedorenko V.F., Tarkivsky V.E. Digital Filtration Method for Determining Traction Power of Agricultural Tractors. *Tekhnika v selskom khozyaystve = Machinery in Agriculture*. 2019; (1):8-10. Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37077512> (accessed 04.02.2021). (In Eng.)
14. Oduma O., Oluka S.I., Edoh J.Ch., et al. Development of Empirical Regression Equations for Predicting the Performances of Disc Plough and Harrow in Clay-Loam Soil. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 2019; 21(3):18-25. Available at: <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/5390> (accessed 04.02.2021). (In Eng.)
15. Bietresato M., Mazzetto F. Ideation, Realization and Experimentation of Prototype Device for Measuring Farm Tractor Fuel Consumption during Dyno Tests. In: Proceedings of Conference: Engineer-

ing for Rural Development, 23–25 May 2018, Jelgava. Jelgava; 2018. Pp. 362-372. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N446>

16. Syromyatnikov Yu.N. Qualitative Performance Indicators of a Ripping-and-Separating Machine for Soil Cultivation. *Selskhozajstvvennye mashiny i tehnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2018; 12(3):38-44. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-3-38-44>

17. Kondrashov V.A., Kovalev M.M., Perov G.A., et al. Study of the Operation of a Soil Spiker with Radially Mounted Spikes on the Discs. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* = Machinery and Equipment for Rural Area. 2019; (10):14-18. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-10-14-18>

18. Shahgholi Gh., Kanyawi N., Kalantari D. Modeling the Effects of Narrow Blade Geometry on Soil Failure Draught and Vertical Forces Using Discrete Element Method. *Yüzüncü Yil University Journal of Agricultural Sciences* = Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences. 2019; 29(1):24-33. (In Turk.) DOI: <https://doi.org/10.29133/yyutbd.429950>

19. Okoko P., Ajav E.A., Olosunde W.A. Draft and Power Requirements for Some Tillage Implements Operating in Clay Loam Soil. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 2018; 20(1): Available at: <https://cigrjournal.org/index.php/Ejournal/article/view/4563> (accessed 04.02.2021). (In Eng.)

20. Liskin I.V., Lobachevsky Ya.P., Mironov D.A., et al. Laboratory Study Results of Soil-Cutting Operating Elements. *Selskokhozyaystvennye mashiny i tehnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2018; 12(4):41-47. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-4-41-47>

21. 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 Annus L.*) Yield in the Western Region of Argentina's Rolling Pampa. In: Proceedings of Conference: Engineering for Rural Development, 22–24 May 2019, Jelgava. Jelgava; 2019. Pp. 174-178. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.22616/ERDev2019.18.N216>

22. Mairghany M., Yahya A., Adam 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; 194. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104318>

23. Savelev Yu.A., Kuharev O.N., Larjushin N.P., et al. Soil Moisture Loss Reduction Owing to Evaporation. *Selskokhozyaystvennye mashiny i tehnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2018; 12(1):42-47. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-1-42-47>

24. Dubovik D.V., Lazarev V.I., Aidiev A.Ya., et al. Efficiency of Various Methods of Primary Tillage and Direct Sowing During the Cultivation of Winter Wheat on Chernozem Soils. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AIC. 2019; 33(12):26-29. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-11205>

25. Colombi T., Torres L.Ch., Walter 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; 626:1026-1035. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.129>

26. Melland A.R., Antille D.L., Dang Y.P. Effects of Strategic Tillage on Short-Term Erosion, Nutrient Loss in Runoff and Greenhouse Gas Emissions. *Soil Research*. 2016; 55(3). (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1071/SR16136>

27. Dang Y.P., Balzer A., Crawford M., et al. Strategic Tillage in Conservation Agricultural Systems of North-Eastern Australia: Why, Where, When and How? *Environmental Science and Pollution Research*. 2018; 25(2):1000-1015. (In Eng.) DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-8937-1>

28. Fedorenko V.F., Kireev I.M., Marchenko V.O. Research of Methods and Technical Means for Measuring the Tillage Depth when Testing Tillage Machines. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* = Machinery and Equipment for Rural Area. 2019; (5):12-17. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-5-12-17>

29. Trubitsyn N.V., Tarkivsky V.E. A Wireless Device for Measuring the Stroke Depth of the Working Bodies for Agricultural Machines. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* = Machinery and Equipment for Rural Area. 2019; (3):13-15. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-3-13-15>

*Submitted 14.08.2020; approved after reviewing 12.10.2020; accepted for publication 26.10.2020*

*About the authors:*

**Galina G. Parkhomenko**, Leading Researcher of the Field Mechanization Laboratory of the Plant Production Mechanization Department, Agricultural Research Center “Donskoy” (3 Nauchnyy Gorodok, Zernograd 347740, Russian Federation), Cand.Sc. (Engineering), Researcher ID: D-2633-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1944-216X>, parkhomenko.galya@yandex.ru

**Igor V. Bozhko**, Researcher of the Field Mechanization Laboratory of the Plant Production Mechanization Department, Agricultural Research Center “Donskoy” (3 Nauchnyy Gorodok, Zernograd 347740, Russian Federation), Cand.Sc. (Engineering), Researcher ID: E-9518-2016, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8423-4079>, Scopus ID: 57204682997, i.v.bozhko@mail.ru

**Sergey I. Kambulov**, Senior Researcher of the Field Mechanization Laboratory of the Plant Production Mechanization Department, Agricultural Research Center “Donskoy” (3 Nauchnyy Gorodok, Zernograd 347740, Russian Federation), D.Sc. (Engineering), Researcher ID: A-6156-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8712-1478>, Scopus ID: 57207655797, kambulov.s@mail.ru

**Viktor I. Pakhomov**, Head of the Department of Technology and Equipment of Product Processing of AIC, Don State Technical University (1 Gagarin Square, Rostov-on-Don 344000, Russian Federation), D.Sc. (Engineering), Professor, Researcher ID: Y-7085-2019, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8715-0655>, vniptim@gmail.com

*Contribution of the authors:*

G. G. Parkhomenko – setting the problem, determining the methodology of research, collecting analytical and practical materials on the topic of research, analysis of scientific sources on the topic of research, critical analysis and finalizing the solution.

I. V. Bozhko – text analysis and revision.

S. I. Kambulov – scientific guidance, problem setting, critical analysis, and refinement of the solution.

V. I. Pakhomov – solution conceptualization.

**Acknowledgments:** The authors express their gratitude to the anonymous reviewers.

*All authors have read and approved the final manuscript.*