

**ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ /
TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT**<https://doi.org/10.15507/2658-4123.035.202502.298-317>EDN: <https://elibrary.ru/utedwa>

УДК 631.31

*Оригинальная статья / Original article***Результаты исследования экспериментального
образца рабочего органа глубокорыхлителя
на переуплотненной почве****Г. Г. Пархоменко¹, И. В. Божко¹✉,
С. И. Камбулов^{1,2}, Н. В. Бужинский¹**¹ *Аграрный научный центр «Донской»,**г. Зерноград, Российская Федерация*² *Донской государственный технический университет,**г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация*✉ i.v.bozhko@mail.ru*Аннотация*

Введение. Одной из наиболее значимых проблем для науки и техники в современных условиях является возрастание антропогенных нагрузок на почву, оказываемых сельскохозяйственной техникой, что приводит к ее уплотнению. Переуплотнение возникает при недостатке органического вещества и влаги. В зоне недостаточного увлажнения процессы минерализации гумуса преобладают над его образованием, поэтому переуплотнение приводит к увеличению объемной массы почвы (плотности почвы). Один из путей решения этой проблемы состоит в использовании безотвальных глубокорыхлителей.

Цель исследования. Синтез элементно-агрегатных компонентов рабочего органа глубокорыхлителя для качественной обработки почвы.

Материалы и методы. Определение показателей технологического процесса экспериментального образца рабочего органа для глубокой обработки почвы осуществлялось с применением стандартных и оригинальных методов исследований показателей качества рыхления пласта.

Результаты исследования. Определили, что при наличии прутков в конструкции рабочего органа по показателю глыбистости глыбы сосредоточены в основном в верхнем горизонте обработанного пласта (0...10 см), а при их отсутствии – в нижних горизонтах (20...30 и 30...40 см). Порозность почвы как функция плотности не достигает оптимальных значений (свыше 50 %) в нижних слоях (37 и 32...33 % на 20...30 см; 31 и 34...35 % на 30...40 см для фонов дискованная стерня зерновых и черный пар соответственно).

Обсуждение и заключение. Установлена целесообразность оснащения конструкции рабочего органа глубокорыхлителя криволинейными прутками. Определили, что лапы в конструкции рабочего органа необходимо устанавливать не под прямым углом к стойке в поперечном направлении, а под углом скола почвы, тем самым плоскореэ трансформируется в чизель с расширителями щели для улучшения качества

© Пархоменко Г. Г., Божко И. В., Камбулов С. И., Бужинский Н. В., 2025

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

обработки и снижения энергозатрат. Совершенствование конструкции рабочего органа глубокорыхлителя также возможно за счет увеличения угла установки плоскорезной лапы ко дну борозды.

Ключевые слова: глубокорыхлитель, рабочий орган, элементарно-агрегатные компоненты, показатели качества обработки почвы

Благодарности: авторы выражают благодарность анонимным рецензентам.

Финансирование: работа выполнена в рамках Государственного задания № 0505-2022-0006 «Разработать методологию ресурсосбережения при формировании машинных технологий на основе новых машин и рабочих органов для возделывания и уборки основных сельскохозяйственных культур в условиях недостаточного и неустойчивого увлажнения».

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Пархоменко Г.Г., Божко И.В., Камбулов С.И., Бужинский Н.В. Результаты исследования экспериментального образца рабочего органа глубокорыхлителя на переуплотненной почве. *Инженерные технологии и системы.* 2025;35(2):298–317. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.035.202502.298-317>

Results of the Study of Using the Experimental Sample of the Deep Ripper Tool on Overconsolidated Soil

G. G. Parkhomenko^a, I. V. Bozhko^a✉,

S. I. Kambulov^{a,b}, N. V. Buzhinsky^a

^a Agricultural Research Center “Donskoy”,
Zernograd, Russian Federation

^b Don State Technical University,

Rostov on Don, Russian Federation

✉ i.v.bozhko@mail.ru

Abstract

Introduction. Under modern conditions, a serious problem for science and technology is increasing anthropogenic loads on the soil caused by agricultural machinery that leads to the soil consolidation. Soil overconsolidation occurs when there is a lack of organic matter and moisture. In the zone of insufficient moisture, the humus mineralization processes prevail over its formation process, so overconsolidation leads to an increase in the soil volume weight (soil density). One way to solve this problem is to use boardless deep rippers.

Aim of the Study. The aim of the study is to synthesize element and aggregate components of the deep ripper tool for high-quality soil cultivation.

Materials and Methods. Identifying the indicators of the technological process of the experimental sample of the tool for deep soil cultivation was carried out using standard and original methods of studying the soil breaking up quality indicators.

Results. The study has shown that with rods in the design of the tool, in terms of lumpiness, the lumps are concentrated mainly in the upper layer of the tilled layer (0...10 cm), and if there are no rods in the tool – in the lower layers (20...30 and 30–40 cm). Soil porosity as a function of density does not reach optimal values (over 50%) in the lower soil layers (37 and 32...33% at 20...30 cm; 31 and 34...35% at 30...40 cm for the backgrounds of disked stubble of cereals and autumn fallow, respectively).

Discussion and Conclusions. As a result of the study, it has been found realistic to equip the deep ripper tool with curved rods. It has been determined that the sweeps in the design of the tool must be installed not at a right angle to the rack in the transverse direction,

but at an angle of soil chipping therefore land clearer is transformed into a chisel with gap expanders to improve the quality of cultivation and reduce energy costs. Improving the design of a deep ripper tool is also possible by increasing the angle of installation of the sweep to the furrow pan.

Keywords: deep ripper, tool, elemental and aggregate components, soil tillage quality indicators

Acknowledgements: The authors would like to thank anonymous reviewers.

Funding: The work was carried out within the framework of State Assignment No. 0505-2022-0006 “Develop a methodology for resource conservation in the formation of machine technologies based on new machines and working bodies for the cultivation and harvesting of basic agricultural crops in conditions of insufficient and unstable moisture”.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

For citation: Parkhomenko G.G., Bozhko I.V., Kambulov S.I., Buzhinsky N.V. Results of the Study of Using the Experimental Sample of the Deep Ripper Tool on Overconsolidated Soil. *Engineering Technologies and Systems*. 2025;35(2):298–317. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.035.202502.298-317>

Введение. Согласно Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 28 февраля 2024 г. № 145¹, в современных условиях ключевым фактором экономики является разработка наукоемкой продукции на собственной технологической основе. При этом возрастание антропогенных нагрузок на почву, масштаб которых приводит к ее деградации, обусловленной переуплотнением, является одной из наиболее значимых проблем для науки и техники.

Деградация характеризуется изменением свойств почвы в результате избыточных нагрузок при всех видах землепользования, разрушающих почвенный покров, ухудшающих его физическое состояние и агротехнические показатели процесса. При этом наблюдается ухудшение водно-воздушного режима, условий существования почвенной биоты, что является основанием для усиления эрозионных процессов.

Одной из причин переуплотнения почвы является постоянное применение отвальной обработки почвы на одну и ту же глубину [1]. Переуплотнение почвы при отвальной обработке способствует уменьшению пористости и влагопроницаемости. Чрезмерное уплотнение пласта приводит к ускоренной аридности пахотного слоя, что в свою очередь в условиях недостаточного увлажнения ведет к иссушительной деградации почвы. Переуплотнение возникает при недостатке органического вещества и влаги. В зоне недостаточного увлажнения процессы минерализации гумуса превалируют над его образованием, поэтому переуплотнение приводит к увеличению объемной массы почвы (плотности почвы). Слой почвы, расположенный ниже вспаханного отвальным плугом, имеет более плотное сложение и распыленность почвенной массы.

На переуплотненных почвах возникает необходимость глубокого рыхления почвы на большую глубину, чем глубина пахотного слоя. При этом увеличение

¹ Указ Президента Российской Федерации от 28 февраля 2024 г. №145 «О стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/50358> (дата обращения: 29.10.2024).

глубины обработки почвы приведет к повышению энергозатрат. Решение этой проблемы состоит в использовании безотвальных глубокорыхлителей [2].

Целью данного этапа исследований является синтез элементарно-агрегатных компонентов рабочего органа глубокорыхлителя для качественной обработки почвы.

Обзор литературы. Одним из критериев энергоэффективности является наименьшее тяговое сопротивление рабочего органа глубокорыхлителя [3]. Глубокое рыхление относится к наиболее энергоемким технологическим операциям [4], что связано с конструктивными особенностями рабочих органов для глубокого рыхления, в задачи которых входит качественное крошение чрезмерно уплотненного слоя почвы. Рабочие органы при этом подвергаются высокому сопротивлению почвы, что является следствием роста их тягового сопротивления. Необходимо обоснование конструкции в части снижения тягового сопротивления рабочих органов глубокорыхлителя.

При безотвальном рыхлении энергозатраты меньше на 30 %, чем при отвальной обработке почвы [5]. Поэтому почвоуглубление с разуплотнением необходимо осуществлять безотвальными рабочими органами.

По мнению исследователей [6], снижение тягового сопротивления возможно за счет обеспечения роста интенсивности деформации пласта почвы при его обработке, обусловленного особенностями конструкции рабочего органа. Интенсивность деформаций пласта повышается от заданного колебательного процесса элементов рабочего органа при его взаимодействии с переуплотненной почвой.

В работе [7] установлено, что при использовании вибрационного рабочего органа глубокорыхлителя тяговое сопротивление уменьшается на 21 %. Затраты энергии на крошение пласта почвы зависят от конфигурации режущей кромки рабочего органа.

Авторами [8; 9] отмечается высокая энергоэффективность рабочих органов криволинейной формы по критерию минимума тягового сопротивления по сравнению с прямолинейным. При этом, согласно заключению ученых [10], вариативность кривизны рабочего органа позволяет обрабатывать почву различной твердости с требуемыми энергетическими показателями процесса.

Классическим рабочим органом для глубокой безотвальной обработки почвы является плоскорезная лапа с долотом. Необходимо взять за основу классический рабочий орган и произвести его усовершенствование конструкции. В качестве основного рабочего органа для глубокого рыхления авторы [11] предлагают использовать плоскорезные лапы с углом раствора 120° . Ученые также выделяют ряд недостатков, которые имеют плоскорезные лапы.

По результатам исследования [12], оснащение рабочего органа глубокорыхлителя крыльями в виде плоскорезов приводит к заметному повышению тягового сопротивления. Также, используемые в качестве рабочих органов глубокорыхлителя плоскорезные лапы, согласно работе [13], характеризуются недостаточно высоким качеством работы, в частности, наличием глыб в обработанном пласте почвы. При этом авторами [14; 15] установлено, что увеличение процесса образования глыб наблюдается на сухих почвах. Другим недостатком качества процесса обработки сухой суглинистой почвы является увеличение плотности и образование уплотненной зоны в нижних горизонтах пласта [16].

В исследовании [17] установлено, что наличие уплотненных зон в нижних горизонтах обрабатываемого пласта приводит к снижению урожайности сельскохозяйственных культур. Таким образом, необходимо разуплотнение этих горизонтов пласта путем применения глубокорыхлителей [18]. Глубококорыхлители при этом должны качественно разуплотнять плужную подошву.

Разуплотнение нижних горизонтов пласта (плужной подошвы) является одним из основных условий плодородия почвы [19]. Из анализа результатов исследования, выполненного авторами [20], следует, что плужная подошва может залегать на глубине от 10 до 40 см. В материалах другого исследования [21] приведена средняя глубина плужной подошвы 35 см при плотности до 2,58 г/см³. Исследование механизмов образования плужной подошвы позволило авторам [22] сделать вывод о наличии глыбистой структуры почвы ниже горизонта уплотненной зоны, состоящей из мелкодисперсной пылевидной фракции.

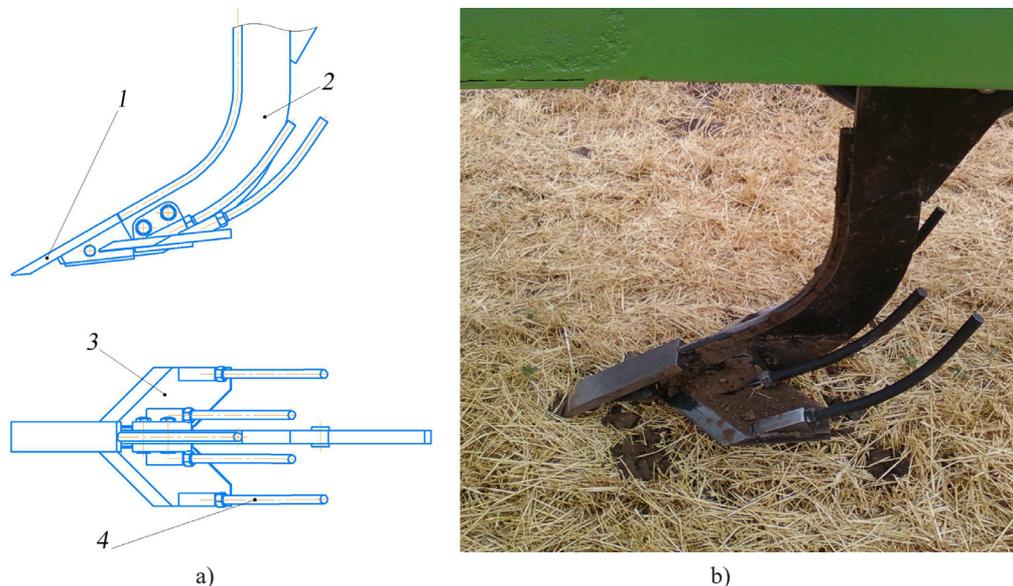
Образование плужной подошвы свидетельствует о деградации почвы [23]. При этом наглядными признаками деградации почвы в данном случае являются переуплотнение пласта, снижение пористости и повышение глыбистости с распылением верхнего слоя [24]. Распыление почвы приводит к часто встречающемуся типу деградации почвы – ветровой эрозии [25; 26], одной из профилактических мер предотвращения которой является создание мульчирующего слоя на поверхности поля дополнительными ротационными рабочими органами с пассивным приводом.

Мульчирующая поверхность на поле создается из измельченных и уплотненных пожнивных и иных растительных остатков, перемешанных с верхним мелкокомковатым слоем почвы. Наличие мульчирующего слоя на поверхности поля является одним из исходных требований к глубокой безотвальной обработке почвы [27].

В исследовании [28] установлено, что наличие мульчирующего слоя на поверхности поля, состоящего из измельченных растительных остатков и раскрошенной почвы, способствует сохранению влаги внутри пласта и повышению урожайности сельскохозяйственных культур. Рабочие органы для создания мульчирующего слоя должны обеспечивать высокую степень крошения глыб на поверхности поля.

Материалы и методы. За основу разрабатываемой конструкции глубококорыхлителя была взята конструкция чизеля в виде стойки с долотом. Однако нижний слой пласта часто характеризуется чрезмерной уплотненностью. В результате взаимодействия с долотом глубококорыхлителя нижний слой скалывается в виде крупных фрагментов (глыб), которые необходимо подвергать дополнительному измельчению. Глыбы необходимо извлечь в верхние слои пласта и на поверхность поля для взаимодействия с дополнительными рабочими органами приспособления с целью улучшения крошения и выравнивания, функционирующего на глубине до 8–10 см. Таким образом, необходимо оснастить долото глубококорыхлителя элементами для извлечения глыб изнутри пласта на поверхность поля ради последующего измельчения. В качестве элементов для извлечения глыб изнутри пласта на поверхность поля с целью последующего измельчения конструкция экспериментального рабочего органа глубококорыхлителя оснащена прутками.

Экспериментальный образец рабочего органа глубокорыхлителя (рис. 1) состоит из долота 1, закрепленного на стойке 2, соединенного с плоскорезными лапами 3, задняя торцевая часть которых продолжена прутками 4, установленными на расстоянии друг от друга в горизонтальной плоскости.



Р и с. 1. Рабочий орган глубокорыхлителя:
 а) схема рабочего органа глубокорыхлителя:
 1 – долото; 2 – стойка; 3 – плоскорезная лапа; 4 – прутки;
 б) общий вид рабочего органа глубокорыхлителя

Fig. 1. The deep ripper tool:
 а) diagram of the deep ripper tool:
 1 – chisel; 2 – stand; 3 – sweep; 4 – rods;
 б) general view of the deep ripper tool

Источник: а) схема составлена авторами статьи; б) фотография сделана Г. Г. Пархоменко при полевом испытании в 2024 г.

Source: а) the diagram was drawn up by the authors of the article; б) the photo was taken during field testing by G. G. Parkhomenko in 2024.

Рабочий орган имеет конструктивную ширину захвата в сборе 380 мм (без прутков – 320 мм), угол крошения долота составляет 30° , угол раствора плоскорезной лапы – 90° , высота прутка – 40 см.

Прутки выполнены по форме циклоиды с параметром t° , образуемой наименьшей длиной траектории глыбы при перемещении со дна борозды, обработанной на глубину a м, на поверхность почвы:

$$l_{\text{прутка}} = 2a \cdot \left| \sin \frac{t}{2} \right|, 0 \leq t \leq \pi.$$

Определение показателей технологического процесса рабочего органа глубокорыхлителя осуществлялось по стандартным и оригинальным методикам.

Стандартные методики устанавливались на основании ГОСТ 20915-2011², ГОСТ 24055-2016³, ГОСТ 5180-2015⁴, ГОСТ 33736-2016⁵. Оригинальной является методика определения глыбистости, заключающаяся в разборе фракций почвы вручную и послойного учета глыб размером более 100 мм по горизонтам с помощью палетки. Палетка размером 0,5×0,5 м² выполнена из металлической сетки с ячейками в виде квадрата со стороной 5 см.

Плотность почвы определяют в тех же местах, где отбирают пробы буром на влажность. Для определения данного показателя внутри пласта верхний горизонт снимается осторожным раскапыванием, бур заглубляется в дно полученного приямка как в поверхностный слой почвы. Полученные пробы почвы плотно упаковываются для определения в лабораторных условиях влажности W и массы $m_{\text{вл.п.}}$.

Объем V почвы с ненарушенным сложением определяют по формуле:

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h,$$

где D, h – диаметр, высота бура соответственно, см.

Плотность γ почвы определяется по формуле:

$$\gamma = \frac{m_{\text{вл.п.}} \cdot 100}{(100 + W) \cdot V},$$

где $m_{\text{вл.п.}}$ – масса влажной почвы, г. Зная плотность γ г/см³ почвы, можно определить ее порозность (ПОР, %) по формуле:

$$\text{ПОР} = \left(1 - \frac{\gamma}{\gamma_{\text{тв.ф.}}} \right) \cdot 100,$$

где $\gamma_{\text{тв.ф.}}$ – плотность твердой фазы почвы $\gamma_{\text{тв.ф.}} = 2,7 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

Для получения показателей тягового сопротивления, создаваемого рабочим органом при различных режимах функционирования, использовались измерительная тезометрическая система ZET 058 производства Зеленоградской электро-технической лаборатории ZETLAB с подключением тензодатчика ТЕНЗО-М С2Н-2-С3, монтируемого на экспериментальной установке, и персональный компьютер.

Результаты исследования. Исследования проводились по следующим фонам: стерня без обработки (С), дискованная стерня (ДС), черный пар (ЧП). Фон ДС располагался на том же поле, что и С, после дискования в один след и выпадения осадков. Исследования по фонам ДС и ЧП проводились одновременно (в течение одного дня).

² ГОСТ 20915-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200094197> (дата обращения: 28.10.2024).

³ ГОСТ 24055-2016. Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технологической оценки [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200144754> (дата обращения: 28.10.2024).

⁴ ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200126371> (дата обращения: 28.10.2024).

⁵ ГОСТ 33736-2016. Техника сельскохозяйственная. Машины для глубокой обработки почвы [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200144758> (дата обращения: 28.10.2024).

Влажность почвы соответствовала норме (до 30 %) и составила по фонам С, ДС и ЧП 7,35–15,83 %, 12,90–14,15 % и 14,65–20,10 % соответственно. Следует отметить большую степень промачивания почвы по фону ЧП после выпадения осадков, при этом на поверхности поля наблюдались следы водной эрозии. Также заметна пересушенность верхних горизонтов почвы по фону С, который исследовался до выпадения осадков.

Твердость почвы до обработки представлена в таблице 1.

Т а б л и ц а 1

T a b l e 1

Твердость почвы до обработки по фонам и горизонтам, МПа**Soil hardness before processing by background and layers, МPa**

Фон / Background	10 см / cm	20 см / cm	30 см / cm	40 см / cm
Стерня без обработки / Stubble without processing	2,174	2,946	3,968	4,416
	2,330	2,882	3,951	4,458
	2,431	2,963	3,978	4,521
Среднее / Average	2,312	2,930	3,966	4,465
Дискованная стерня / Disked stubble	2,001	3,830	4,051	4,989
	2,208	3,547	5,175	4,968
	2,036	3,760	5,072	4,760
Среднее / Average	2,082	3,712	4,766	4,906
Черный пар / Autumn fallow	1,414	1,208	1,518	1,622
	1,276	1,518	1,760	1,794
	1,414	1,760	1,587	1,898
Среднее / Average	1,368	1,495	1,622	1,771

По анализу твердости почвы до обработки следует отметить соответствие норме (до 4 МПа) по всем фонам на глубине 10 и 20 см (в среднем 1,368–3,712 МПа), по С также на 30 см (3,966 МПа), по ЧП на 30 см (в среднем 1,622 МПа) и на 40 см (в среднем 1,771 МПа). По фону С на глубине 40 см твердость также близка к требуемой, с незначительным ее превышением (в среднем 4,465 МПа). По фону ДС в горизонтах 30 см (в среднем 4,766 МПа) и 40 см (в среднем 4,906 МПа) твердость почвы превышает норму (до 4 МПа), что обусловлено воздействием на пласт дисковых рабочих органов, поскольку на необработанной стерне (С) этого не наблюдалось.

Помимо анализа твердости и влажности почвы, характеристиками условий проведения исследования показателей технологического процесса, выполняемого рабочим органом глубоких рыхлителя (СТО АИСТ 4.6-2018), отмечены ровный рельеф обрабатываемых полей (уклон не более 8°) с микрорельефом продольным 2 см, поперечным 3 см и высотой растительных и пожнивных остатков менее 25 см.

Плотность почвы не входит в перечень обязательных агротехнических показателей для определения качества работы глубоких рыхлителей, поэтому определялась только для фонов ДС и ЧП, сравнение которых адекватно ввиду одновременного получения данных. По указанным фонам плотность почвы до обработки составила 1,37–1,61 г/см³ (ДС) и 1,25–1,66 г/см³ (ЧП). Полученные данные свидетельствуют о сильно уплотненном пласте, требующем разрыхления.

Перемещение почвы внутри пласта после прохода рабочего органа можно проследить по изменению абсолютной влажности. Абсолютная влажность почвы до обработки на фоне С свидетельствует о пересушенности пласта в верхних горизонтах (0–10 и 10–20 см): 7,35–8,35 %. Нижний горизонт на глубине до 30 см характеризовался незначительной увлажненностью: 15,30–15,85 %.

После прохода глубокорыхлителя с прутками на глубину 30 см на фоне С внутри пласта установилась абсолютная влажность, совпадающая с нижним горизонтом необработанной почвы (15,30–15,70 %), что свидетельствует о перемещении слоев в процессе рыхления (табл. 2).

Таблица 2

Table 2

Абсолютная влажность почвы стерни без обработки
Absolute soil moisture (background stubble without processing)

Обработка / Processing	Значение / Value			Допуск / Admission
	Фактическое / Actual			
До обработки в горизонте, см: / Before processing in the layer, cm:				
0–10	7,35	7,85	8,35	
10–20	8,25	8,25	7,45	
20–30	15,85	15,80	15,30	До 30 % / To 30%
После прохода глубокорыхлителя с прутками в горизонте 0–30 см / After the passage of the deep ripper with rods in the layer 0–30 cm	15,30	15,70	15,40	

В связи с вышеизложенным на обработанном фоне (ДС) принято решение более детального исследования влажности после прохода глубокорыхлителя с прутками (глубина 40 см) с определением плотности и порозности, а также сравнения полученных данных с результатами по черному пару.

Анализ результатов (фон ДС) также свидетельствует о перемещении влажных слоев почвы в верхние горизонты после прохода глубокорыхлителя: влажность почвы с 13,20–13,25 % увеличилась до 16,80–17,40 % на глубине 0–10 см и с 12,90–13,85 % до 15,25–15,90 % на 10–20 см. Влажность в нижних горизонтах пласта остается постоянной: 14,0 % до – 14,40 после на 20–30 см и 14,10 % до – 14,98 % после на 30–40 см в среднем.

При этом долото глубокорыхлителя скалывает комки почвы из горизонта ниже заданной глубины обработки (40 см) и выносит их в поверхностные слои. Этим объясняется превышение влажности почвы после обработки (табл. 3).

Негативной стороной данного процесса является высокая вероятность испарения влаги с поверхностных слоев почвы, сохранность которой обеспечивалась внутри пласта. С другой стороны влага становится доступной, а извлечь ее из уплотненного комка, расположенного ниже 40 см, посредством гидротропизма корневой системы невозможно.

Непроизводительный расход влаги с поверхности поля пресекается посредством создания мульчирующего слоя ротационными рабочими органами, расположенными непосредственно за стойкой основных, для дополнительной обработки.

Т а б л и ц а 3

T a b l e 3

Абсолютная влажность почвы (фон дискованная стерня)**Absolute soil moisture (background disked stubble)**

Обработка / Processing	Горизонт, см / Layer, cm	Фактическое значение / Actual value			Среднее / Average	Допуск / Admission
До обработки / Before processing	0–10	13,20	13,25	13,30	13,25	До 30 % / To 30%
	10–20	13,85	12,90	13,70	13,48	
	20–30	14,00	14,00	14,00	14,00	
	30–40	14,15	14,10	14,05	14,10	
После обработки / After processing	0–10	17,40	16,80	17,20	17,13	
	10–20	15,35	15,90	15,25	15,50	
	20–30	13,35	14,90	14,95	14,40	
	30–40	15,10	15,10	14,75	14,98	

По фону ЧП наблюдается аналогичная картина (табл. 4): влажность почвы в горизонтах 20–30 и 30–40 см остается практически неизменной после обработки (с 19,43 до 19,98 % и с 19,70 до 19,02 % в среднем соответственно), а в горизонтах 0–10 и 10–20 см повышается за счет извлечения комков на поверхность (с 14,93 до 20,47 % и с 18,13 до 20,03 % в среднем соответственно).

Т а б л и ц а 4

T a b l e 4

Абсолютная влажность почвы (фон черный пар)**Absolute soil moisture (background autumn fallow)**

Обработка / Processing	Горизонт, см / Layer, cm	Фактическое значение / Actual value			Среднее / Average	Допуск / Admission
До обработки / Before processing	0–10	14,65	14,75	15,40	14,93	До 30 % / To 30%
	10–20	18,05	18,10	18,25	18,13	
	20–30	19,45	19,55	19,30	19,43	
	30–40	20,10	19,15	19,85	19,70	
После обработки / After processing	0–10	20,35	20,05	21,0	20,47	
	10–20	20,55	19,85	19,70	20,03	
	20–30	19,50	20,30	20,15	19,98	
	30–40	18,70	19,70	18,65	19,02	

Следует отметить большой запас влаги в подпахотном уплотненном горизонте почвы на фоне ЧП по сравнению с ДС.

Перемещение глыб на поверхность поля, образуемых при взаимодействии рабочего органа с плужной подошвой, расположенной на глубине не менее 20 см, осуществляется с помощью прутков. Это подтверждается сравнением распределения глыб по горизонтам после прохода глубокорыхлителя без прутков и с прутками (табл. 5).

Таблица 5

Table 5

Глыбистость по горизонтам глубокорыхлителя
Lumpiness by layers for a deep ripper

Фон / Background	Горизонт почвы, см / Soil layer, cm	Глыбистость: количество комков крупнее 100 мм, шт./м ² глубокорыхлителя с прутками/без прутков при скорости, м/с и глубине, см / Lumpiness: number of lumps larger than 100 mm, pcs/m ² of subsoiler with rods/without rods at speed, m/s and depth, cm								
		1,81			2,37			2,93		
		30	35	40	30	35	40	30	35	40
Стерня / Stubble	0–10	1/0	1/0	2/0	3/2	2/0	3/1	1/0	3/0	1/0
Дискованная стерня / Disked stubble		2/0	2/0	1/1	1/0	1/1	2/1	2/0	3/0	2/0
Черный пар / Autumn fallow		3/0	3/0	3/0	1/0	2/0	2/0	3/0	1/0	1/0
Стерня / Stubble	10–20	1/0	0/0	0/0	1/0	1/0	1/0	0/0	1/0	1/0
Дискованная стерня / Disked stubble		0/0	1/0	1/0	1/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
Черный пар / Autumn fallow		1/0	0/0	1/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
Стерня / Stubble	20–30	0/4	0/2	0/1	0/0	0/3	0/3	0/1	0/1	0/1
Дискованная стерня / Disked stubble		0/0	0/0	1/0	0/2	0/0	0/0	0/0	0/1	0/2
Черный пар / Autumn fallow		0/1	0/1	0/2	0/1	1/2	0/1	0/2	0/1	0/1
Стерня / Stubble	30–40	0/0	0/1	0/3	0/1	0/0	0/0	0/2	0/4	0/2
Дискованная стерня / Disked stubble		0/1	0/2	0/1	0/1	0/2	0/1	0/2	0/1	0/1
Черный пар / Autumn fallow		0/0	0/1	0/0	0/2	0/0	0/0	0/0	0/1	0/2

Следует отметить, что при наличии прутков в конструкции рабочего органа, глыбы сосредоточены в основном в верхнем горизонте обработанного пласта (0–10 см), а при их отсутствии – в нижних горизонтах (20–30 и 30–40 см).

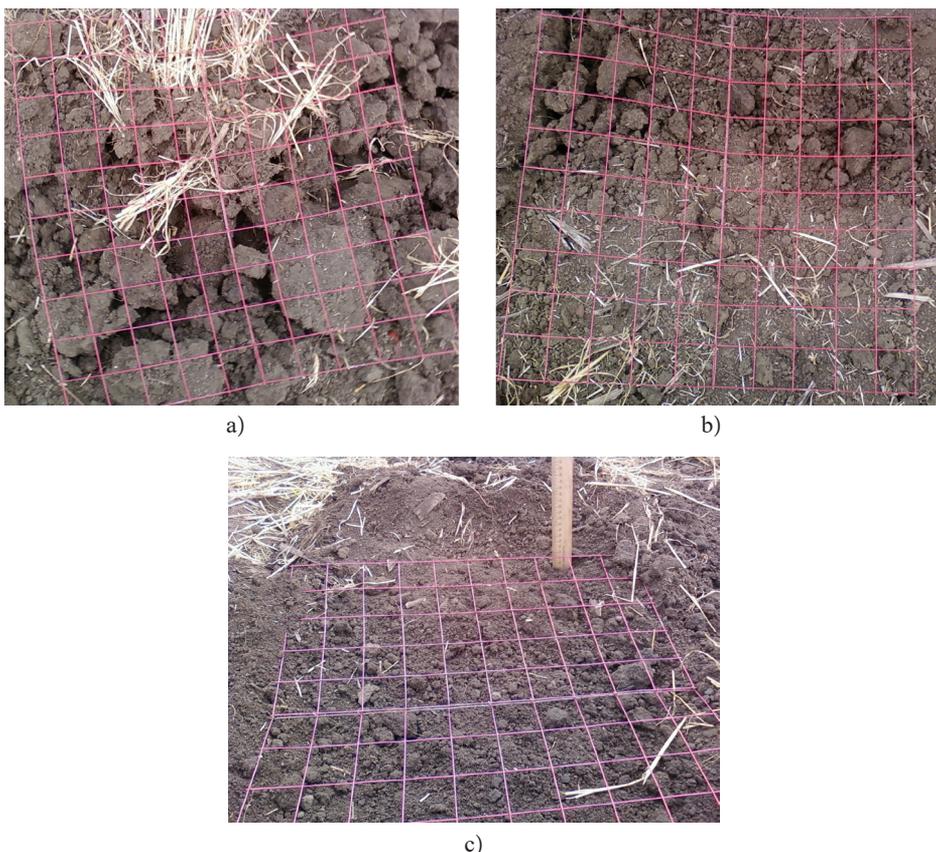
При отсутствии прутков в конструкции глубокорыхлителя глыбы крупнее 100 мм остаются недоступными дополнительному приспособлению для крошения (рис. 2, 3).



Р и с. 2. Определение глыбистости в горизонте 20–30 см после прохода глубокорыхлителя без прутков

F i g. 2. Determination of lumpiness in the 20–30 cm layer after passing a deep ripper without rods

Источник: здесь и далее фотографии сделаны Г. Г. Пархоменко при полевом испытании в 2024 г.
Source: hereinafter in the article the photos were taken during field testing by G. G. Parkhomenko in 2024.



Р и с. 3. Определение глубистости после прохода рабочего органа
глубокорыхлителя с прутками:

а) горизонт 0–10 см; б) горизонт 10–20 см; в) горизонт 20–30 см

F i g. 3. Determination of lumpiness after passing the deep ripper tool with rods:
a) layer 0–10 cm; b) layer 10–20 cm; c) layer 20–30 cm

Следует отметить, что до обработки почва была сильно уплотненной во всех горизонтах ($1,25\text{--}1,66\text{ г/см}^3$), то есть плотность составляла выше $1,25\text{ г/см}^3$.

По результатам анализа плотности почвы после обработки глубокорыхлителем с прутками фона ДС наблюдается рыхлый слой ($0,90\text{--}0,95\text{ г/см}^3$) на 0–10 и 10–20 см ($0,59$ и $0,81\text{--}0,82\text{ г/см}^3$ соответственно).

На фоне ЧП рыхлым после обработки является только слой 0–10 см ($0,76\text{--}0,77\text{ г/см}^3$), а глубже лежащий 10–20 см – уплотненный ($1,22\text{--}1,23\text{ г/см}^3$), с интервалом данной характеристики физико-механических свойств $1,15\text{--}1,25\text{ г/см}^3$. На обоих исследуемых фонах отсутствуют слои нормальной плотности ($0,95\text{--}1,15\text{ г/см}^3$).

Нижние слои 20–30 и 30–40 см на обоих фонах являются сильно уплотненными (табл. 6). Их плотность превышает $1,25\text{ г/см}^3$ (на 20–30 см $1,69\text{--}1,71\text{ г/см}^3$ и $1,82\text{--}1,83\text{ г/см}^3$; на 30–40 см $1,85\text{ г/см}^3$ и $1,75\text{--}1,77\text{ г/см}^3$ для ДС и ЧП соответственно).

Таблица 6

Table 6

Плотность почвы до и после прохода глубокорыхлителя с прутками
Soil density before and after the passing of a deep ripper with rods

Фон / Background	Горизонт, см / Layer, cm	Фактическое значение / Actual value			Рекомендуемое значение / Recommended value
Дискованная стерня до / Disked stubble before	0–10	1,37	1,37	1,37	
	10–20	1,46	1,47	1,46	
	20–30	1,50	1,50	1,50	
	30–40	1,60	1,61	1,61	
Дискованная стерня после / Disked stubble after	0–10	0,59	0,59	0,59	0,90–0,95 г/см ³ – рыхлый; 0,95–1,15 г/см ³ – нормальной плотности; 1,15–1,25 г/см ³ – уплотненный; свыше 1,25 г/см ³ – сильно уплотненный /
	10–20	0,82	0,81	0,82	
	20–30	1,71	1,69	1,69	
	30–40	1,85	1,85	1,85	
Черный пар до / Autumn fallow before	0–10	1,26	1,26	1,25	0,90–0,95 г/см ³ – loose; 0,95–1,15 г/см ³ – normal density; 1,15–1,25 г/см ³ – compacted; over 1.25 г/см ³ – highly compacted
	10–20	1,63	1,63	1,64	
	20–30	1,65	1,66	1,66	
	30–40	1,52	1,54	1,53	
Черный пар после / Autumn fallow after	0–10	0,77	0,77	0,76	
	10–20	1,22	1,23	1,23	
	20–30	1,83	1,82	1,82	
	30–40	1,77	1,75	1,77	

Превышение плотности нижних слоев пласта, обработанного глубокорыхлителем с прутками, отчасти объясняется снижением порозности ввиду извлечения крупных комков в верхние горизонты почвы, а также применением в конструкции плоскорезных лап, функционирование которых основано на использовании деформаций сжатия при их работе.

При использовании плоскорезных лап в конструкции рабочий орган выполняет сплошное рыхление пласта, что противоречит основе технологического процесса чизеля, функционирующего с недорезом пласта по ширине захвата и формирующего прорезь трапециевидной формы в поперечном сечении.

Плоскорезная лапа при сплошном рыхлении почвы уплотняет ее при сжатии, тогда как при недорезе пласта комки скалываются при растяжении, менее энергозатратной деформации⁶.

Применение плоскорезной лапы в данной конструкции оправдано только необходимостью крепления к ней прутков. Плоскорезная лапа выполняет функцию салазок, обеспечивая выполнение технологического процесса скольжения с уплотнением. Лапы могут служить расширителями прорези, но в данной конструкции они излишни, поскольку рабочий орган с одним долотом за счет скола по опережающей трещине охватывает такую же ширину обработанной полосы, что и другие варианты. Следует отметить, ширина захвата всех вариантов рабочего органа глубокорыхлителя составляла в среднем 380–400 мм, не зависимо от наличия плоскорезных лап в конструкции.

При отсутствии плоскорезных лап в конструкции наблюдается лучшее сохранение стерни на поверхности почвы (60 %), чем у других вариантов рабочего органа глубокорыхлителя.

⁶ Зеленин А. Н. Резание грунтов. М. : Изд-во АН СССР, 1959. 271 с.

Порозность почвы как функция плотности также не достигает оптимальной (свыше 50 %) в нижних слоях (37 и 32–33 % на 20–30 см; 31 и 34–35 % на 30–40 см для ДС и ЧП соответственно).

Оптимальная порозность (свыше 50 %) наблюдается (табл. 7) только в верхних слоях пласта (78 и 71 % на 0–10 см; 70 и 54–55 % на 10–20 см для ДС и ЧП соответственно).

Т а б л и ц а 7

T a b l e 7

Порозность почвы после прохода глубокорыхлителя с прутками
Soil porosity after passing of a deep ripper with rods

Фон / Background	Горизонт, см / Layer, cm	Фактическое значение / Actual value			Рекомендуемое значение / Recommended value
Дискованная стерня / Disked stubble	0–10	78	78	78	Свыше 50 % / Over 50%
	10–20	70	70	70	
	20–30	37	37	37	
	30–40	31	31	31	
Черный пар / Autumn fallow	0–10	71	71	71	
	10–20	55	54	54	
	20–30	32	33	33	
	30–40	34	35	34	

Снижение порозности менее 50 % указывает на недостаточное количество воздуха внутри обработанного пласта и запасов влаги или возможности ее накопления.

Помимо этого оснащение конструкции рабочего органа глубокорыхлителя плоскорезными лапами значительно увеличивает его тяговое сопротивление (табл. 8), тогда как монтаж прутков оказывает меньшее влияние на данный показатель. Так, при скорости 1,81–2,93 м/с оснащение стойки с долотом плоскорезными лапами приводит к увеличению тягового сопротивления на 29,9 %, а монтаж на них прутков еще на 2,5 %.

Т а б л и ц а 8

T a b l e 8

Тяговое сопротивление вариантов рабочего органа глубокорыхлителя, кН
Traction resistance of variants of the deep ripper tool, kN

Фон / Background	Варианты рабочего органа глубокорыхлителя / Options for the deep ripper tool		
	Стойка с долотом / Stand with a chisel	Стойка с долотом и плоскорезными лапами / Stand with a chisel and sweeps	Стойка с долотом, плоскорезными лапами и прутками / Stand with a chisel, sweeps and rods
Стерня / Stubble	5,78–9,29	8,92–10,91	9,08–12,21
Дискованная стерня / Disked stubble	8,15–9,15	9,71–12,65	9,61–12,16
Черный пар / Autumn fallow steam	6,85–8,25	9,13–10,94	10,15–12,99
В среднем / On average	7,54	10,76	11,04

Обсуждение и заключение. Таким образом, установлена целесообразность оснащения криволинейными прутками конструкции рабочего органа глубокорыхлителя. Прутки выполняют подъем глыб из недоступного поверхностным рабочим органам горизонта почвы на поверхность поля. Это подтверждается тем, что при наличии прутков в конструкции рабочего органа глыбы сосредоточены в основном в верхнем горизонте обработанного пласта (0–10 см), а при их отсутствии – в нижних горизонтах (20–30 и 30–40 см). После прохода глубокорыхлителя с прутками внутри пласта установилась абсолютная влажность, совпадающая с нижним горизонтом необработанной почвы: 15,30–15,70 % (на стерневом фоне), что свидетельствует о перемещении слоев в процессе рыхления. На фоне ДС также наблюдается перемещение влажных слоев почвы в верхние горизонты после прохода глубокорыхлителя с прутками: влажность почвы с 13,20–13,25 % увеличилась до 16,80–17,40 % на глубине 0–10 см и с 12,90–13,85 % до 15,25–15,90 % на глубине 10–20 см. По фону ЧП влажность в горизонтах 0–10 и 10–20 см повышается после обработки за счет извлечения комков на поверхность (с 14,93 до 20,47 % и с 18,13 до 20,03 % в среднем соответственно).

С целью извлечения глыб на поверхность поля данная конструкция рабочего органа глубокорыхлителя с прутками эффективна при функционировании на глубину до 40 см при скорости движения 1,81–2,93 м/с на стерневом фоне, в том числе без обработки, на ЧП.

Оснащение глубокорыхлителя плоскорезными лапами данной конструкции с целью разуплотнения целесообразно только на глубину до 20 см, поскольку наблюдается на фоне ДС рыхлый слой на 0–10 и 10–20 см (с плотностью 0,59 и 0,81–0,82 г/см³, порозностью 78 и 70 % соответственно). На фоне ЧП на 0–10 см также наблюдается рыхлый слой после обработки (с плотностью 0,76–0,77 г/см³, порозностью 71 %), а на 10–20 см (с плотностью 1,22–1,23 г/см³ и порозностью 54–55 %) заметно разуплотненный по сравнению с необработанным (1,63–1,64 г/см³).

В дальнейшем для совершенствования конструкции рабочего органа лапы необходимо установить не под прямым углом к стойке в поперечном направлении, а под углом скола почвы, тем самым плоскорез трансформируется в чизель с расширителями щели для улучшения качества обработки и снижения энергозатрат. Возможно совершенствование конструкции рабочего органа глубокорыхлителя за счет увеличения угла установки плоскорезной лапы к дну борозды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Tsvetnov E.V., Makarov O.A., Stokov A.S., Tsvetnova O.B. The Role of Soils in Land Degradation Assessment: A Review. *Eurasian Soil Science*. 2021;54:441–447. <https://doi.org/10.1134/S1064229321030169>
2. Sándor Z., Magdolna T., Kincses I., László Z., Kátai J., Vágó I. Effect of Various Soil Cultivation Methods on Some Microbial Soil Properties. *DRC Sustainable Future*. 2020;(1):14–20. URL: <https://clck.ru/3MHPLN> (дата обращения: 25.09.2024).
3. Джаббаров Н.И., Добринов А.В. Оптимальное проектирование почвообрабатывающих машин с учетом их потребной мощности. *АгроЭкоИнженерия*. 2021;(1):50–62. <https://doi.org/10.24411/2713-2641-2021-10277>

- Dzhabborov N.I., Dobrinov A.V. Optimal Designing of Tillage Machines with Due Account for Their Required Power. *AgroEcoEngineering*. 2021;(1):50–62. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.24411/2713-2641-2021-10277>
4. Куваев А.Н. Определение удельного сопротивления почвы при глубокой безотвальной обработке в условиях Северного Казахстана. *Тракторы и сельхозмашины*. 2020;87(4):45–52. <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2020-4-45-52>
Kuvayev A.N. Determination of the Specific Soil Resistance Using Deep Subsurface Tillage in Conditions of Northern Kazakhstan. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2020;87(4):45–52. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2020-4-45-52>
 5. Андреев В.Л., Дёмшин С.Л., Ильичёв В.В., Носкова Е.Н., Попов Ф.А. Оценка эффективности работы базовой модели многофункционального почвообрабатывающего агрегата. *Вестник НГИЭИ*. 2019;(5):34–47. URL: <https://clck.ru/3MHRQ5> (дата обращения: 25.09.2024).
Andreev V.L., Dyomshin S.L., Illichev V.V., Noskova E.N., Popov F.A. Evaluation of the Efficiency of Work of the Basic Model of Multifunctional Tillage Unit. *Bulletin of NGIEI*. 2019;(5):34–47. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <https://clck.ru/3MHRQ5> (accessed 25.09.2024).
 6. Джабборов Н.И., Добринов А.В., Савельев А.П. Моделирование процесса обработки почвы методом концентрации напряжений в обрабатываемом пласте. *Инженерные технологии и системы*. 2023;33(2):175–191. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202302.175-191>
Jabborov N.I., Dobrinov A.V., Saveluev A.P. Modeling of the Tillage Process by the Method of Stress Concentration in the Tilled Layer. *Engineering Technologies and Systems*. 2023;33(2):175–191. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202302.175-191>
 7. Хазов И.Е., Рахимов И.Р., Рахимов Р.С., Алябьев В.А. Разработка вибрационного рабочего органа глубокорыхлителя. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение*. 2024;24(2). <https://doi.org/10.14529/engin240204>
Khazov I.E., Rakhimov I.R., Rakhimov R.S., Alyabiev V.A. Development of a Vibratory Working Organ of a Subsoiler. *Bulletin of the South Ural State University. Series “Mechanical Engineering Industry”*. 2024;24(2). (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.14529/engin240204>
 8. Джабборов Н.И., Добринов А.В. Обоснование конструктивных параметров рабочего органа для рыхления почвы и уничтожения сорных растений в органическом земледелии. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2022;15(1):23–33. https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_1_23
Dzhabborov N.I., Dobrinov A.V. Validation of the Design Parameters of the Tillage Tool Developed for Soil Loosening and Clean Weeding in Organic Farming. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2022;15(1):23–33. (In Russ., abstract in Eng.) https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2022_1_23
 9. Добринов А.В., Джабборов Н.И., Чугунов С.В. Сравнительная оценка эффективности рабочих органов для обработки почвы и уничтожения сорных растений. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса*. 2022;(2):465–480. URL: <https://clck.ru/3MHuzr> (дата обращения: 29.10.2024).
Dobrinov A.V., Dzhabborov N.I., Chugunov S.V. Comparative Assessment of the Efficiency of Working Parts for Soil Treatment and Destruction of Weeds. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2022;(2):465–480. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <https://clck.ru/3MHuzr> (accessed 29.10.2024).
 10. Ахалая Б.Х., Шогенов Ю.Х., Миронова А.В., Золотарев А.С. Многооперационный почвообрабатывающий агрегат. *Агроинженерия*. 2022;24(4):28–31. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-4-28-31>
Akhalaya B.Kh., Shogenov Yu.Kh., Mironova A.V., Zolotarev A.S. Multi-Operational Tillage Unit. *Agricultural Engineering*. 2022;24(4):28–31. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-4-28-31>
 11. Дёмшин С.Л., Зырянов Д.А., Андреев В.Л., Ильичёв В.В. Результаты исследования по определению рациональной конструкционной схемы многофункционального почвообрабатывающего агрегата. *Пермский аграрный вестник*. 2020;(3):13–23. <https://elibrary.ru/nhhgft>

- Demshin S.L., Zyryanov D.A., Andreev V.L., Ilyichev V.V. Research Results on Determining a Rational Design Scheme of a Multifunctional Tillage Unit. *Perm Agrarian Bulletin*. 2020;(3):13–23. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/nhhgft>
12. Shahgoli G., Kanyawi N., Kalantari D. Modeling the Effects of Narrow Blade Geometry on Soil Failure Draught and Vertical Forces Using Discrete Element Method. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*. 2019;29(1):24–33. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.429950>
 13. Багиров Г.С., Алекперов Х.Т., Алиев Х.З., Гаманов Р.Н., Гусейнов А.Г. Оптимальные параметры плоскорезов – глубокорыхлителей. *Горное сельское хозяйство*. 2022;(5):9–15. <https://doi.org/10.25691/GSH.2022.5.002>
Bagirov G.S., Alekperov Kh.T., Aliyev Kh.Z., Gamanov R.N., Huseynov A.G. Optimal Parameters of Flat Cutter – Deep Shorecutter. *Gornoe Sel'skoe Khozyaistvo*. 2022;(5):9–15. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.25691/GSH.2022.5.002>
 14. Швабауэр Ю.А., Субботин С.И., Гапич Д.С., Фомин С.Д. Экспериментальная установка для исследования чизельного агрегата, оборудованного рабочими органами с улучшенными геометрическими характеристиками. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса*. 2024;(2):394–406. URL: <https://clck.ru/3MHxRi> (дата обращения: 29.10.2024).
Shvabauer Yu.A., Subbotin S.I., Gapich D.S., Fomin S.D. Experimental Installation for the Study of a Chisel Unit Equipped with Working Bodies with Improved Geometric Characteristics. *Izvestia of the Lower Volga Agro-University Complex*. 2024;(2):394–406. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <https://clck.ru/3MHxRi> (accessed 29.10.2024).
 15. Кузыченко Ю.А., Катков К.А. Технологический показатель работы МТА при обработке почвы в условиях Предкавказья. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2022;(2):134–138. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-94-2-134-138>
Kuzychenko Yu.A., Katkov K.A. Technological Indicator of the Work of the MTU During Tillage in the Conditions of the Pre-Caucasus. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2022;(2):134–138. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-94-2-134-138>
 16. Борисенко И.Б., Доценко А.Е., Борисенко П.И., Новиков А.Е. Чизелевание почвы: перспективные орудия и способы возделывания ширококорядных пропашных культур. *Аграрный научный журнал*. 2015;(7):41–45. <https://elibrary.ru/ubotqj>
Borisenko I.B., Dotsenko A.E., Borisenko P.I., Novikov A.E. Chizeling: Advanced Tools and Harvesting Methods in Wide Row Crops. *The Agrarian Scientific Journal*. 2015;(7):41–45. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/ubotqj>
 17. Павлюченко Г.В., Садов Р.И. Оптимизация параметров почвообрабатывающего агрегата в степных и лесостепных районах Алтайского края. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2021;(3):126–130. URL: <http://vestnik.asau.ru/index.php/vestnik/article/view/175> (дата обращения: 25.10.2024).
Pavlyuchenko G.V., Sadv R.I. Optimization of Tillage Unit Parameters in Steppe and Forest-Steppe Regions of the Altai Territory. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2021;(3):126–130. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <http://vestnik.asau.ru/index.php/vestnik/article/view/175> (accessed 25.10.2024).
 18. Романюк Н.Н., Нукешев С.О., Тойгамбаев С.К., Теловов Н.К. Оригинальный глубокорыхлитель для улучшения свойств плодородного слоя почвы. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2014;(2). URL: <https://clck.ru/3MJ2iC> (дата обращения: 29.10.2024).
Romanuk N.N., Nukeshev S.O., Toigambaev S.K., Telovov N.K. [An Original Subsoiler for Improving the Properties of the Fertile Soil Layer]. *Vestnik Kurskoi Gosudarstvennoi Sel'skokhozyaistvennoi Akademii*. 2014;(2). (In Russ.) Available at: <https://clck.ru/3MJ2iC> (accessed 29.10.2024).
 19. Рашидов Т.Р., Джурасва Н.Б., Уринов А.П. Моделирование процесса деформирования и движения почвы в зоне воздействия глубокорыхлителя. *Вестник Томского государственного университета. Математика и механика*. 2021;(73):81–94. <https://doi.org/10.17223/19988621/73/8>

- Rashidov T.R., Djuraeva N.B., Urinov A.P. Modeling the Process of Strain and Motion of the Soil in a Subsoiler Operation Area. *Tomsk State University Journal of Mathematics and Mechanics*. 2021;(73):81–94. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.17223/19988621/73/8>
20. Чумаков В.Г., Копыленко Л.Ю. Способы борьбы с уплотнением почвы. *Вестник Курганской ГСХА*. 2014;(2):65–67. URL: <https://clck.ru/3MJ3Z5> (дата обращения: 29.09.2024).
Chumakov V. G., Kopylenko L. Yu. Ways of Fight Against Soil Consolidation. *Vestnik of the Kurgan State Agricultural Academy*. 2014;2(10):65–67. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <https://clck.ru/3MJ3Z5> (accessed 29.09.2024).
21. Петровец В.Р., Курзенков С.В., Дудко Н.И., Греков Д.В. Математическая модель пахотного слоя почвы как сплошной сыпучей среды, сжимаемой и способной к самоорганизации при ее обработке. *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*. 2017;(4):160–163. URL: <https://clck.ru/3MJ3on> (дата обращения: 29.10.2024).
Petrovets V.R., Kurzenkov S.V., Dudko N.I., Grekov D.V. [Mathematical Model of the Arable Soil Layer as a Continuous Bulk Medium, Compressible and Capable of Self-Organization During its Processing]. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2017;(4):160–163. (In Russ.) Available at: <https://clck.ru/3MJ3on> (accessed 29.10.2024).
22. Зинченко С.И., Зинченко В.С. Формирование плужной подошвы при различных приемах основной обработки серой лесной почвы. *Владимирский земледелец*. 2015;(1):2–6. URL: <https://clck.ru/3MJ4cn> (дата обращения: 29.10.2024).
Zinchenko S.I., Zinchenko V.S. Formation of the Plough Sole at Various Methods of the Main Processing of the Grey Forest Soil. *Vladimir Agricolist*. 2015;(1):2–6. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <https://clck.ru/3MJ4cn> (accessed 29.10.2024).
23. Громовик А.И., Горбунова Н.С. Формирование горизонта плужной подошвы в черноземах и ее сорбционные особенности в отношении органического вещества и тяжелых металлов. *Сорбционные и хроматографические процессы*. 2022;22(6):877–884. <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2022.22/10894>
Gromovik A.I., Gorbunova N.S. Formation of the Tillage Pan Bottom Horizon in Black Soils and its Sorption Features with Respect to Organic Matter and Heavy Metals. *Sorption and Chromatography Processes*. 2022;22(6):877–884. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.17308/sorpchrom.2022.22/10894>
24. Плиско И.В. Проявление физической деградации пахотных почв Украины и пути ее преодоления (аналитический обзор). *Почвоведение и агрохимия*. 2016;(2):141–153. URL: http://aw.belab.by/russian/science/soilandagro_pdf/57/57-14.pdf (дата обращения: 29.10.2024).
Plisko I.V. The Manifestation of Physical Degradation on Arable Lands in Ukraine (the Literary Review). *Soil Science and Agrochemistry*. 2016;(2):141–153. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: http://aw.belab.by/russian/science/soilandagro_pdf/57/57-14.pdf (accessed 29.10.2024).
25. Андреева О.В., Куст Г.С. О возможности достижения устойчивого землепользования на землях, подверженных эрозии: вопросы управления и моделирования. *Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение*. 2024;79(3):38–48. <https://doi.org/10.55959/MSU0137-0944-17-2024-79-3-38-48>
Andreeva O.V., Kust G.S. Is it Possible to Achieve Sustainable Land Management on Land Affected by Erosion: Issues of Modeling Options. *Lomonosov Soil Science Journal*. 2024;79(3):38–48. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.55959/MSU0137-0944-17-2024-79-3-38-48>
26. Бельц А.Ф., Гузенко К.Е. Совершенствование рабочей схемы многофункционального почвообрабатывающего посевного агрегата. *Тракторы и сельхозмашины*. 2024;91(4):421–429. <https://doi.org/10.17816/0321-4443-321846>
Belts A.F., Guzenko K.E. Improvement of the Functional Layouts of Multifunctional Soil-Cultivating Sowing Units. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2024;91(4):421–429. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.17816/0321-4443-321846>
27. Бойков В.М., Старцев С.В., Павлов А.В., Окас К.К. Рациональная технология безотвальной основной обработки почвы. *Аграрный научный журнал*. 2017;(2):44–46. URL: <https://agrojr.ru/index.php/asj/article/view/31/26> (дата обращения: 29.10.2024).

- Boykov V.M., Startsev S.V., Pavlov A.V., Okas K.K. Rational Technology of Subsoil Tillage. *The Agrarian Scientific Journal*. 2017;(2):44–46. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <https://agrojr.ru/index.php/asj/article/view/31/26> (accessed 29.10.2024).
28. Бобков С.И., Астафьев В.Л. Орудие для измельчения сидератов на поверхности почвы в технологии органического земледелия. *Сельскохозяйственные технологии*. 2019;1(1). URL: <https://clck.ru/3MJ9iy> (дата обращения: 29.10.2024).
- Bobkov S.I., Astafiev V.L. Tool for Crushing Green Manure on the Soil Surface in Organic Farming Technology. *Agricultural Technologies*. 2019;1(1). (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <https://clck.ru/3MJ9iy> (accessed 29.10.2024).

Об авторах:

Пархоменко Галина Геннадьевна, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела механизации растениеводства, лаборатории механизации полеводства Аграрного научного центра «Донской» (347740, Российская Федерация, г. Зерноград, ул. им. Ленина, д. 14), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1944-216X>, Researcher ID: D-2633-2019, Scopus ID: 57211208305, SPIN-код: 6048-2834, parkhomenko.galya@yandex.ru

Божко Игорь Владимирович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела механизации растениеводства, лаборатории механизации полеводства, Аграрного научного центра «Донской» (347740, Российская Федерация, г. Зерноград, ул. им. Ленина, д. 14), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8423-4079>, Researcher ID: E-9518-2016, Scopus ID: 57204682997, SPIN-код: 8506-5144, i.v.bozhko@mail.ru

Камбулов Сергей Иванович, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник отдела механизации растениеводства, лаборатории механизации полеводства Аграрного научного центра «Донской» (347740, Российская Федерация, г. Зерноград, ул. им. Ленина, д. 14), профессор кафедры технологий и оборудования переработки продукции АПК Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8712-1478>, Researcher ID: A-6156-2019, Scopus ID: 57204644631, SPIN-код: 3854-2942, kambulov.s@mail.ru

Бужинский Никита Владимирович, аспирант, инженер отдела механизации растениеводства, лаборатории механизации полеводства Аграрного научного центра «Донской» (347740, Российская Федерация, г. Зерноград, ул. им. Ленина, д. 14), ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8968-4337>, SPIN-код: 4551-7297, 27091999n@gmail.com

Вклад авторов:

Г. Г. Пархоменко – разработка и проектирование методологии исследования; осуществление научно-исследовательского процесса, включая выполнение экспериментов и сбор данных; создание и подготовка рукописи: критический анализ черновика рукописи, внесение замечаний и исправлений членами исследовательской группы, в том числе на этапах до и после публикации.

И. В. Божко – осуществление научно-исследовательского процесса, включая выполнение экспериментов; создание и подготовка рукописи: критический анализ черновика рукописи, внесение замечаний и исправлений членами исследовательской группы, в том числе на этапах до и после публикации.

С. И. Камбулов – формулирование идеи исследования, целей и задач; контроль, лидерство и наставничество в процессе планирования и проведения исследования.

Н. В. Бужинский – осуществление научно-исследовательского процесса, включая выполнение экспериментов и сбор данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

*Поступила в редакцию 19.12.2024; поступила после рецензирования 13.01.2025;
принята к публикации 21.01.2025*

About the authors:

Galina G. Parkhomenko, Cand.Sci. (Eng.), Leading Researcher of the Department of Plant Mechanization, Laboratory of Field Cultivation, Agrarian Research Center “Donskoy” (14 Lenin St., Zernograd 347740, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1944-216X>, Researcher ID: D-2633-2019, Scopus ID: 57211208305, SPIN-code: 6048-2834, parkhomenko.galya@yandex.ru

Igor V. Bozhko, Cand.Sci. (Eng.), Senior Researcher of the Department of Plant Mechanization, Laboratory of Field Cultivation, Agrarian Research Center “Donskoy” (14 Lenin St., Zernograd 347740, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8423-4079>, Researcher ID: E-9518-2016, Scopus ID: 57204682997, SPIN-code: 8506-5144, i.v.bozhko@mail.ru

Sergey I. Kambulov, Dr.Sci. (Eng.), Associate Professor, Chief Researcher of the Department of Plant Mechanization, Laboratory of Field Cultivation, Agrarian Research Center “Donskoy” (14 Lenin St., Zernograd 347740, Russian Federation), Professor of the Department “Technologies and Equipment for Processing Agricultural Products”, Don State Technical University (1 Gagarin Square, Rostov-on-Don 344003, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8712-1478>, Researcher ID: A-6156-2019, Scopus ID: 57204644631, SPIN-code: 3854-2942, kambulov.s@mail.ru

Nikita V. Buzhinsky, Postgraduate Student, Engineer of the Department of Plant Mechanization, Laboratory of Field Cultivation, Agrarian Research Center “Donskoy” (14 Lenin St., Zernograd 347740, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-8968-4337>, SPIN-code: 4551-7297, 27091999n@gmail.com

Authors contribution:

G. G. Parkhomenko – developing the study methodology; conducting the study, specifically performing the experiments and collecting the data; preparing the manuscript, specifically critical reviewing of the manuscript draft, commentaries or revisions at pre- or post-publication stages.

I. V. Bozhko – conducting the study, specifically performing the experiments; preparing the manuscript, specifically critical reviewing of the manuscript draft, commentaries or revisions at pre- or post-publication stages.

S. I. Kambulov – formulating the ideas, objectives and tasks of the study; overseeing and mentoring during planning and conducting the study.

N. V. Buzhinsky – conducting the study, specifically performing the experiments and collecting the data.

All authors have read and approved the final manuscript.

Submitted 19.12.2024; revised 13.01.2025; accepted 21.01.2025