

Комбинированный агрегат для обработки почвы импульсным воздействием ударной волны

Бадри Хутаевич Ахалая,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: badri53@yandex.ru;

Юлия Сергеевна Ценч,
доктор технических наук,
главный научный сотрудник, доцент,
e-mail: vimasp@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Показали, что обработка почвы многофункциональным комбинированным агрегатом с импульсным воздействием ударной волны является актуальным и перспективным направлением в общей системе почвообработки. (*Цель исследования*) Разработка многофункционального комбинированного агрегата для обработки почвы импульсным воздействием ударной волны, повышающего производительность, улучшающего качество обработки почвы и экологию окружающей среды. (*Материалы и методы*) Агрегат состоит из основной рамы, двух боковых, складывающихся секций и центральной, которая выполнена со сницей, опорными и транспортными колесами, а также рамы в виде полого вала, соединенного с баллоном сжатого воздуха. Передние рамы каждой секции снабжены жестко закрепленными рабочими органами в виде культиваторных лап со встроенными внутри пневмотрубами с выходными отверстиями на концах крыльев лап с радиусом действия сжатого воздуха 5-10 сантиметров. (*Результаты и обсуждение*) Установили соотношение глубины поверхностной обработки почвы культиваторной лапой к глубине внутрипочвенной обработки импульсными ударами сжатого воздуха, равное 1:2. Состав почвообрабатывающих устройств замыкают дисковые фрезы диаметром 25-30 сантиметров и бороны на глубину обработки 5-7 сантиметров. (*Выводы*) Усовершенствованная таким образом конструкция многофункционального комбинированного агрегата позволяет проводить одновременно несколько операций: культивацию с уничтожением сорной растительности, рыхление почвы воздушным потоком высокого давления, фрезерование и измельчение поверхности.

Ключевые слова: обработка почвы, импульсное воздействие, ударная волна, комбинированный агрегат, лапа культиватора, фреза, зубовая борона.

■ **Для цитирования:** Ахалая Б.Х., Ценч Ю.С. Комбинированный агрегат для обработки почвы импульсным воздействием ударной волны // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Том. 17. №4. 62-67. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-62-67. EDN: RBWZHM.

Combined Unit for Tillage with Pulsed Shock Wave Action

Badry Kh. Akhalaya,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: badri53@yandex.ru;

Yulia S. Tsench,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher, associate professor,
e-mail: vimasp@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper shows that incorporating a multifunctional combined unit with pulsed shock wave action into soil tillage presents a pertinent and promising advancement in the soil cultivation system. (*Research purpose*) The research aims to develop a multifunctional combined unit for soil tillage integrating pulsed shock wave action. The objectives include enhancing productivity, refining tillage quality and promoting ecological considerations. (*Materials and methods*) The unit consists of a main frame, two side-folding sections, and a central section, which is made featuring a carriage, support and transport wheels. Additionally, it incorporates a frame in the shape of a hollow shaft, connected to a compressed air cylinder. The front frames of each section are equipped with rigidly fixed working bodies taking the form of cultivator paws with embedded pneumatic tubes. These tubes have outlet holes positioned at the ends of the wings of the paws, with a compressed air effective radius of 5-10 centimeters. (*Results and discussion*) The established ratio between the depth of surface tillage using a cultivator paw and the depth of subsoil tillage through pulsed blows of compressed air is 1:2. The tillage devices are supplemented by disc cutters with a diameter ranging from 25 to 30 centimeters, along with harrows designed for processing to a depth of 5-7 centimeters. (*Conclusions*) Enhanced

by this modification, the design of the multifunctional combined unit enables the simultaneous execution of multiple operations, including cultivation with weed destruction, soil loosening using high-pressure air flow, and surface milling and grinding.

Keywords: tillage, pulse impact, shock wave, combined unit, cultivator paw, milling cutter, tooth harrow.

For citation: Akhalaya B.Kh., Tsench Yu.S. Kombinirovannyi agregat dlya obrabotki pochvy impul'snym vozdeystviem udarnoy volny [Combined unit for tillage with pulsed shock wave action] *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N4. 62-67 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-62-67. EDN: RBWZHM.

Наибольший технико-экономический эффект сокращения процессов обработки почвы может быть достигнут за счет снижения объема обрабатываемого почвенного пласта [1]. Всякое рыхление почвы сводится в основном к обработке пласта на заданные глубину и ширину, исходя из этого обработка может быть сплошной или полосной [2].

Однако в зависимости от типа рабочих органов форма и площадь поперечного сечения обрабатываемого пласта могут быть различными [3] (рис. 1). Форма сечения пласта характеризуется профилем обрабатываемого слоя: ровным (лемешные плуги, плоскорезные орудия, культиваторы); гребнистым (чизельные орудия, зубовые бороны); волнообразным (дисковые орудия, игольчатые бороны, фрезы); ступенчатым (плуги с почвоуглубителями и равноглубинными корпусами, культиваторы со стрельчатыми и рыхлящими лапами – плоскорезы-щелеватели; щелевым – щелерезы-кратователи [4].

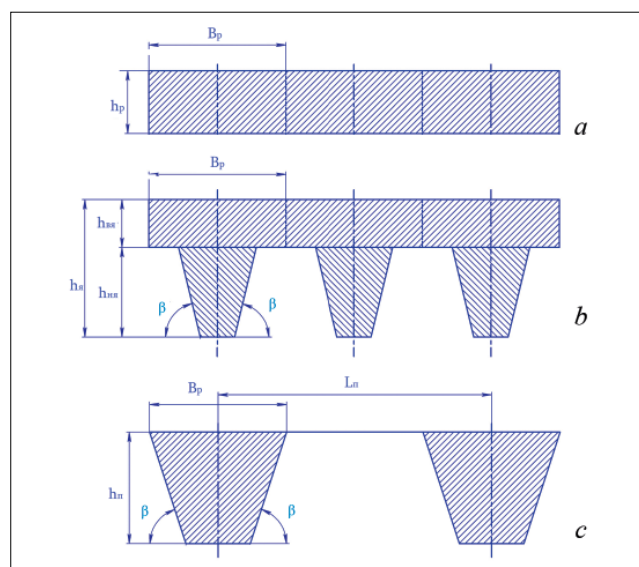


Рис. 1. Профили обрабатываемого слоя почвы: а – сплошной; б – ступенчатый; с – полосной (щелевой)

Fig. 1. Profiles of the treated soil layer: a – continuous; b – stepped; c – strip (slotted)

Указанные способы обработки почвы с разнопрофильной формой дна обрабатываемого слоя, за исключением специальных и противозерозионных приемов, недостаточно обоснованы с агрономической точки зрения. Между тем энергоёмкость процессов

рыхления почвы в значительной степени зависит от глубины и площади обрабатываемого сечения пласта и особенно от формы его нижнего периметра, расположенного в более плотном горизонте [5].

Известно, что ровный профиль дна борозды, образуемый плугами и другими орудиями основной обработки почвы, зачастую способствует сплошному уплотнению подошвы, что отрицательно сказывается на развитии растений [6].

Исходя из требований почвозащитного земледелия, можно определить следующие основные приемы основной обработки почвы:

- снижение глубины обрабатываемого слоя;
- замена сплошной глубокой обработки ярусной или ступенчатой;
- использование полосной и щелевой обработки [7].

Целесообразность применения указанных приемов обработки почвы должна определяться их агротехнической и почвозащитной эффективностью, которая может быть установлена только опытным путем. Однако, прежде всего необходимо оценить возможность реализации этих приемов и ожидаемый технико-экономический эффект [8].

Цель исследования – разработка многофункционального комбинированного агрегата для обработки почвы импульсным воздействием ударной волны, повышающего производительность, улучшающего качество обработки почвы и экологию окружающей среды.

Материалы и методы. Для определения степени воздействия рабочих органов почвообрабатывающих орудий и машин на изменение профиля, генетическую и антропологическую многогранность обрабатываемого слоя почвы, необходимо изучить ее с главной целью: во-первых, как минимум не нанести вреда почве и окружающей среде, во-вторых, получить максимально возможный положительный результат экономического и экологического характера [9].

Под технологическими способами механического воздействия на обрабатываемый слой почвы понимают воздействие на грунт рабочих частей механизмов и агрегатов, которыми проводится обработка. При этом изменяется плотность почвы и происходит взаимное перемещение ее слоев [10].

В последнее время ряд стран довели до минимума производство плугов [11]. Однако некоторые страны отказались от них вовсе [12]. Взамен глубокой

вспашки применяют поверхностную с минимальной глубиной обработку почвы в пределах 5-7 см [13].

Методы нетрадиционной обработки почвы отличаются по способу воздействия на почву и делятся на виды безотвальной обработки: с помощью импульсов сжатого воздуха, электрического разряда и ультразвука [14].

Перед разработкой конструкции комбинированного агрегата прецизионной обработки при воздействии сжатого воздуха на почву провели патентный анализ почвообрабатывающих машин и устройств с различными принципами действия (RU 2335107, МПК, 2008; SU 1664128, МПК; RU 2335107, МПК, 2008; РФ 2491807, МПК, 2012; RU 136275, МПК, 2013; RU 136674, МПК, 2014).

подавляющее большинство работ посвящены традиционным способам обработки почвы. Эти устройства относятся к технологиям с разной степенью механического воздействия на почву.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Разработанный многофункциональный комбинированный агрегат предназначен для полосной обработки почвы импульсами сжатого воздуха на ширину захвата культиваторной лапы в пределах 20-40 см [15, RU 2736059, МПК, 2020; RU 2745458, МПК, 2021).

Ширина воздействия на почву импульсами сжатого воздуха агрегата

$$H = 4r \cdot n_1 + b \cdot (n_2 - 1), \text{ см,}$$

где r – радиус действия сжатого воздуха в почве, см;

n_1 – число культиваторных лап, шт.;

b – ширина необработанной полосы междурядья, см;

n_2 – число необработанных полос, шт.

На рисунке 2 представлена схема трехсекционного почвообрабатывающего агрегата.

Секции 1 и 3 складывающиеся, а базовая секция 2 выполнена со сницей 4, опорными 5 и транспортными 6 колесами и баллоном сжатого воздуха 7. Передняя рама каждой секции выполнена в виде полого вала 8, связанного с баллоном сжатого воздуха, системы пуска 9 сжатого воздуха, полых ступиц 10.

Передние рамы каждой секции снабжены жестко закрепленными на стойке 11 культиваторными лапами 12 с пневмотрубками (на рисунке не показаны), закрепленными на концах крыльев лапы изнутри с выпускными клапанами 13, которые установлены под острым углом к горизонтальной поверхности и направлены против движения агрегата с радиусом действия сжатого воздуха 5-10 см.

Соотношение глубины поверхностной обработки почвы культиваторной лапы к глубине внутрипочвенной обработки импульсными ударами сжатого воздуха равно 1:2. За культиваторными лапами установлены дисковые фрезы 14 и бороны 15 с глубиной обработки 5-7 см и с необходимой шириной захвата, а также возможностью замены.

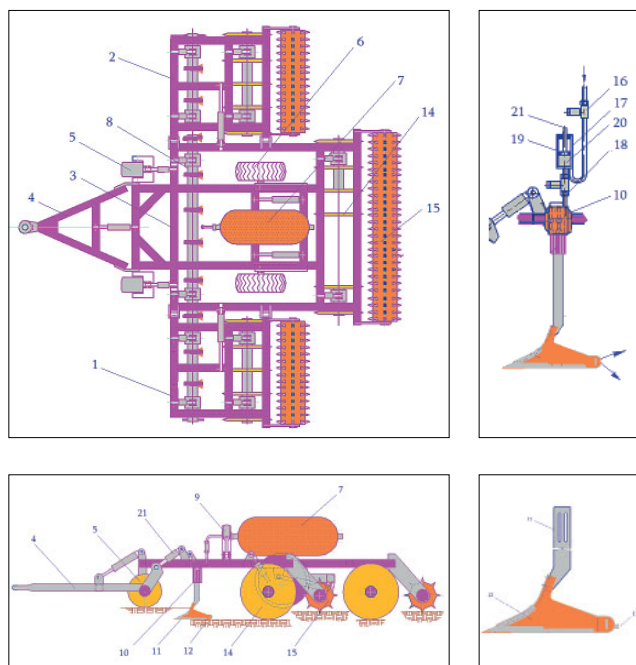


Рис. 2. Многофункциональный комбинированный агрегат для обработки почвы импульсным воздействием ударной волны: 1, 3 – складывающиеся секции; 2 – базовая секция; 4 – сница; 5 – опорные колеса; 6 – транспортные колеса; 7 – баллон сжатого воздуха; 8 – полый вал; 9 – система пуска сжатого воздуха; 10 – полые ступицы; 11 – стойка; 12 – культиваторные лапы; 13 – пневмотрубка с выпускным клапаном; 14 – дисковые фрезы; 15 – бороны; 16, 18 – пневмоэлектродвигатели; 17 – микрорессиверы; 19 – поршень; 20 – цилиндр; 21 – винтовой механизм

Fig. 2. Multifunctional combined soil cultivation unit with pulsed shock wave action: 1, 3 – folding sections; 2 – base section; 4 – snitch; 5 – support wheels; 6 – transport wheels; 7 – compressed air cylinder; 8 – hollow shaft; 9 – compressed air starting system; 10 – hollow hubs; 11 – stand; 12 – cultivator paws; 13 – pneumatic tube with exhaust valve; 14 – disk cutters; 15 – harrows; 16, 18 – pneumatic electrovalves; 17 – microreceivers; 19 – piston; 20 – cylinder; 21 – screw mechanism

Передние рамы каждой секции с полым валом подсоединены к баллону сжатого воздуха через пневмоэлектродвигатель 16, микрорессиверы 17 и пневмоэлектродвигатель 18.

Каждый микрорессивер имеет устройство для изменения объема, например поршень 19, перемещаемый внутри цилиндра 20 с помощью винтового механизма 21. В зависимости от физико-механических свойств почвы предварительно устанавливается требуемый объем сжатого воздуха в микрорессивере с помощью винтового механизма.

Перед очередным импульсным воздействием на почву через общую заправочную магистраль по команде системы управления полый вал из баллона высокого давления заполняется сжатым воздухом высокого давления. За счет кратковременного открытия пневмоэлектродвигателей происходит впрыск сжатого

воздуха в почву на установочную глубину. Постоянное рабочее давление в баллонах поддерживается компрессором (на схеме не показан).

Культиваторные лапы со стойкой установлены на полом вала при помощи ступицы с возможностью подвода сжатого воздуха через пневмотрубки к выпускным клапанам, размещенными на концах крыльев лапы на внутренней поверхности (рис. 3).

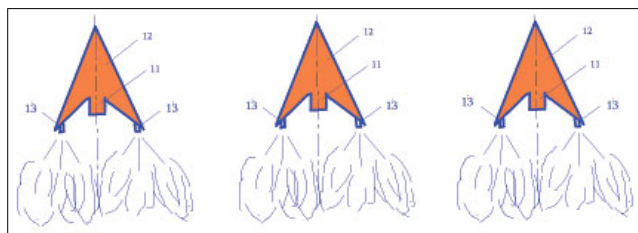


Рис. 3. Лапы культиватора в рабочем режиме

Fig. 3. Cultivator paws in operation mode

Многофункциональный комбинированный агрегат для обработки почвы импульсным воздействием ударной волны работает следующим образом.

Агрегат перед полосной обработкой почвы сжатым воздухом с помощью гидроцилиндров (на схеме не показаны), полые валы секций вместе с жестко закрепленными на них ступицами, полыми стойками с культиваторными лапами переводят на требуемую глубину обработки почвы.

Сжатый воздух к выпускным клапанам поступает из баллона высокого давления, проходя общую заправочную магистраль, ступицу и пневмотрубки к выпускным клапанам. Компрессор поддерживает постоянное давление сжатого воздуха в баллоне. При открытии пневмоэлектрклапанов происходит заполнение всех микрорессиверов трех секций (трубопроводы на рисунках не показаны) сжатым воздухом высокого давления.

После заполнения пневмоэлектрклапаны закрываются и их отсекают от общей заправочной магистрали. Таким образом, все микрорессиверы оказы-

ваются подготовленными для подачи через полый вал малообъемного импульса сжатого воздуха к выпускным клапанам. По команде системы управления срабатывают пневмоэлектрклапаны и обеспечивают подачу сжатого воздуха большого давления из микрорессиверов в полый вал. Далее поток сжатого воздуха направляется к клапанам по пневмотрубкам, закрепленным на крыльях лапы хомутами, с выходом против направления движения агрегата.

При погружении культиваторной лапы в почву на установочную глубину обработки клапаны открываются и сжатый воздух под высоким давлением микровзрывными импульсами с радиусом действия 5-10 см воздействует на почву, что приводит к ее рыхлению.

Дисковые фрезы и бороны, расположенные за транспортными колесами, измельчают почву на глубину обработки 5-7 см с уплотнением.

Разрабатываемая конструкция комбинированного устройства дает возможность проводить одновременно несколько операций: культивацию с уничтожением сорной растительности, рыхление почвы при помощи воздушного потока высокого давления, фрезерование и измельчение почвы зубовой бороной.

Выводы

1. Наличие культиваторной лапы облегчает работу пусковой системы сжатого воздуха и позволяет беспрепятственно и эффективно обрабатывать почву.
2. Разработка почвообрабатывающего агрегата с секциями по сторонам дает возможность регулировать рабочую ширину и делает его удобным для перемещения с одной площади обработки на другую.
3. Одновременная поверхностная и внутрипочвенная обработка позволит значительно повысить производительность агрегата, сократить расходы эксплуатационного времени и повысить экономическую эффективность.
4. За счет совмещения несколько рабочих процессов сокращается количество прохода агрегата, снижая уплотнение почвы, что способствует сокращению расходов горючего и улучшению экологии окружающей среды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Мазитов Н.К. Почвообрабатывающая техника: пути импортозамещения // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2017. N2. С. 37-42. DOI:10.22314/207375992017.2.3741. EDN:YODARL.
2. Лобачевский Я.П. Новые почвообрабатывающие технологии и технические средства // *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2000. N8. С. 30-32. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-3-4-11. EDN: UUULOB.
3. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Хорошенков В.К. и др. Оптимизация управления технологическими процессами в растениеводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2018. Т. 12. N3. С. 4-11. DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-3-4-11.
4. Дорохов А.С., Сибирев А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. Аналитическое обоснование системы автоматического контроля глубины обработки почвы // *Агроинженерия*. 2021. N3(103). С. 19-23. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-19-23. EDN: FWCRIM.
5. Федоренко В.Ф., Киреев И.М., Марченко В.О. Исследование методов и технических средств для измерения глубины обработки почвы при испытаниях почвообрабатывающих машин // *Техника и оборудование для села*. 2019. N5 (263). С. 12-17. DOI: 10.33267/2072-9642-2019-5-12-17. EDN: QXUZCE.
6. Лискин И.В., Миронова А.В. Обоснование искусствен-

ной почвенной среды для лабораторных исследований износа и тяговых характеристик почворезущих рабочих органов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. N3. С. 53-58. DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-3-53-58. EDN: PMAMCF.

7. Маслов Г.Г., Юдина Е.М., Таран А.Д. Нулевая обработка почвы: за и против // *Сельский механизатор*. 2022. N1. С. 10-11. EDN: VJFPOF.
8. Киреев И.М., Коваль З.М., Марченко В.О., Зимин Ф.А. Рациональный технологический процесс обработки почвы рабочими органами почвообрабатывающих машин // *Техника и оборудование для села*. 2020. N6(276). С. 8-13. DOI: 10.33267/2072-9642-2020-6-8-13. EDN: HJJDGV.
9. Цепляев А.Н., Косильников Р.А., Цепляев В.А. и др. Снижение тягового сопротивления сельскохозяйственных машин за счет минимизации его колебаний при обработке тяжелосуглинистых почв // *Агроинженерия*. 2019. N2(90). С. 14-19. EDN: UTZXZN.
10. Панов А.И., Алдошин Н.В., Пляка В.И., Мехедов М.А. Агротехническая и энергетическая оценка машин для нарезки гряд и гребней // *Агроинженерия*. 2020. N5. С. 4-9.

DOI: 10.26897/2687-1149-2020-5-4-9. EDN: VPBGYQ.

11. Gatteringer A., Jawtusch J., Muller A., Mäder P. No-till agriculture – a climate smart solution. Published by: Bischöfliches Hilfswerk Misereore. Aachen, Germany. 2011. 24.
12. Brennen C.E. Cavitation and bubble dynamics. New York: Cambridge University press, 2014. 249. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107338760>.
13. Yasui K. Acoustic cavitation and bubble dynamics. *Japan: National Institute of Advanced Industrial Science and Technology*. 2018. 118. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68237-2>.
14. Ахалая Б.Х., Шогенов Ю.Х., Старовойтов С.И. и др. Трехсекционный почвообрабатывающий агрегат с универсальными сменными рабочими органами // *Вестник Казанского ГАУ*. 2019. Т. 14. N3(54) С. 92-95. DOI: 10.12737/article_5db9656e2ade23.01560949. EDN: MZOGIZ.
15. Ахалая Б.Х., Шогенов Ю.Х., Ценч Ю.С. Агрегат для обработки почвы пульсирующим сжатым воздухом // *Вестник Казанского ГАУ*. 2018. Т. 13. N3(50). С. 69-72. DOI: 10.12737/article-5bcf556a9e00e3.71318160. EDN: VMGDYR.

REFERENCES

1. Lachuga Yu.F., Izmailov A.Yu., Lobachevsky Ya.P., Mazi-tov N.K. Pochvoobrabatyvayushchaya tekhnika: puti importozameshcheniya [Soil-cultivating machinery: ways of import substitution]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2017. N2. 37-42 (In Russian). DOI:10.22314/207375992017.2.3741. EDN:YODARL.
2. Lobachevskiy Ya.P. Novye pochvoobrabatyvayushchie tekhnologii i tekhnicheskie sredstva [New tillage technologies and technical means]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2000. N8. 30-32 (In Russian). DOI: 10.223-14/2073-7599-2018-12-3-4-11. EDN: UUULOB.
3. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Khoroshenkov V.K., et al. Optimizatsiya upravleniya tekhnologicheskimi processami v rastenievodstve [Optimization of technological process management in plant growing]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2018. Vol. 12. N3. 4-11 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2018-12-3-4-11.
4. Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Aksenov A.G., Mosyakov M.A. Analiticheskoe obosnovanie sistemy avtomaticheskogo kontrolya glubiny obrabotki pochvy [Analytical feasibility study of the for automatic control system of tillage depth]. *Agroinzheneriya*. 2021. N3(103). 19-23 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-19-23. EDN: FWCRIM.
5. Fedorenko V.F., Kireev I.M., Marchenko V.O. Issledovanie metodov i tekhnicheskikh sredstv dlya izmereniya glubiny obrabotki pochvy pri ispytaniyakh pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Research of methods and technical means for measuring the tillage depth when testing tillage machines]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2019. N5(263). 12-17 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2019-5-12-17. EDN: QXUZCE.
6. Liskin I.V., Mironova A.V. Obosnovanie iskusstvennoy pochvennoy sredy dlya laboratornykh issledovaniy iznosa i tyagovykh kharakteristik pochvorezhushchikh rabochikh organov [Artificial soil environment justification for laboratory studies of wear and traction characteristics of soil-cutting working bodies]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2020. N3. 53-58 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-3-53-58. EDN: PMAMCF.
7. Maslov G.G., Yudina E.M., Taran A.D. Nulevaya obrabotka pochvy: za i protiv [Zero tillage: pros and cons]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2022. N1. 10-11 (In Russian). EDN: VJFPOF.
8. Kireev I.M., Koval' Z.M., Marchenko V.O., Zimin F.A. Ratsional'nyy tekhnologicheskiiy process obrabotki pochvy rabochimi organami pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Reasonable tillage process using tillage machine working bodies]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2020. N6 (276). 8-13 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2020-6-8-13. EDN: HJJDGV.
9. Tseplyaev A.N., Kosulnikov R.A., Tseplyaev V.A., et al. Snizhenie tyagovogo soprotivleniya sel'skokhozyaystvennykh mashin za schet minimalizatsii ego kolebaniy pri obrabotke tyazhelosuglinistykh pochv [Reducing traction resistance of agricultural machines by minimizing its fluctuations when tilling heavy-loamy soils]. *Agroinzheneriya*. 2019. N2(90). 14-19 (In Russian). EDN: UTZXZN.
10. Panov A.I., Aldoshin N.V., Plyaka V.I., Mekhedov M.A. Agrotekhnicheskaya i energeticheskaya otsenka mashin dlya narezki gryad i grebney [Agrotechnical and energy assessment of ridgers and seedbed formers]. *Agroinzheneriya*. 2020. N5. 4-9 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2020-5-4-9. EDN: VPBGYQ.
11. Gatteringer A., Jawtusch J., Muller A., Mäder P. No-till agriculture – a climate smart solution. Published by: Bischöfliches

- es Hilfswerk Misereore. Aachen, Germany. 2011. 24 (In English).
12. Brennen C.E. Cavitation and bubble dynamics. New York: Cambridge University press, 2014. 249 (In English). DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9781107338760>.
 13. Yasui K. Acoustic cavitation and bubble dynamics. *Japan: National Institute of Advanced Industrial Science and Technology*. 2018. 118 (In English). DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-68237-2>.
 14. Akhalaya B.Kh., Shogenov Yu.Kh., Starovoytov S.I., et al. Trekhsekcionnyy pochvoobrabatyvayushchiy agregat s universal'nymi smennymi rabochimi organami [Three-section soil processing unit with universal replaceable working units]. *Vestnik Kazanskogo GAU*. 2019. Vol. 14. N3 (54). 92-95 (In Russian). DOI: 10.12737/article_5db9656e2ade23.01560949. EDN: MZOGIZ.
 15. Akhalaya B.Kh., Shogenov Yu.Kh., Tsench Yu.S. Agregat dlya obrabotki pochvy pulsiruyushchim szhatym vozdukhom [Unit for soil processing by pulsing compressed air]. *Vestnik Kazanskogo GAU*. 2018. T. 13. N3(50). 69-72 (In Russian). DOI: 10.12737/article-5bcf556a9e00e3.71318160. EDN: VMGDYR.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Ахалая Б.Х. – разработка конструктивных схем и устройства многофункционального комбинированного агрегата для обработки почвы импульсным воздействием ударной волны, постановка цели исследования, определение методики проведения исследования;

Ценч Ю.С. – сбор и анализ аналитических и практических материалов по теме исследования, формирование общих выводов, критический анализ и доработка решения.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Akhalaya B.Kh. – developing design diagrams and designing a multifunctional combined unit for soil cultivation under the pulsed action of a shock wave, establishing the research purpose, and defining the research methodology;

Tsench Yu.S. – collecting and analyzing theoretical and practical materials related to the research topic, formulating overall conclusions, providing critical analysis and refinements to the proposed solution

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

04.10.2023

21.11.2023