

EDN: HQHGAN

DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-2-78-83



Научная статья

УДК 631.358



Автоматизированная почвообрабатывающая машина для послойной обработки почвы высокотурбулентной воздушной струей

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

Юлия Сергеевна Ценч,
доктор технических наук, член-корреспондент РАН,
главный научный сотрудник,
e-mail: vimasp@mail.ru;
Наталья Ивановна Беляева,
младший научный сотрудник
e-mail: _catlin@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Показали, что сохранение и повышение плодородия почв сельскохозяйственных угодий остается одной из важнейших народнохозяйственных проблем. В почвозащитной системе земледелия безотвальная обработка почвы играет определяющую роль в предупреждении развития ветровой и водной эрозии, в процессах регулирования ее физических, химических и биологических свойств, способствует более полному использованию почвенных и климатических ресурсов для получения более высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур. *(Цель исследования)* Разработка автоматизированной почвообрабатывающей машины для послойной обработки высокотурбулентной воздушной струей, повышающей плодородие почвы и снижающей тяговое сопротивление агрегата. *(Материалы и методы)* Разработана конструкция автоматизированной почвообрабатывающей машины для послойной обработки почвы высокотурбулентной воздушной струей, при которой по команде системы управления срабатывают пневмоэлектродвигатели и подается сжатый воздух в рабочие органы. Конструкция машины содержит: игольчатые прикапывающие катки с длиной иглы до 10 см, дисковые фрезы с глубиной обработки под корнеплоды – 15-20 и под зерновые – 8-12 сантиметров. Рабочие органы выполнены в виде двух дугообразных ножей и установлены друг за другом с интервалом 15-20 см, при этом передний нож установлен на глубину обработки 10-12, задний на 10-12 сантиметров ниже, *(Результаты и обсуждение)* Установили, что рассматриваемая конструкция автоматизированной почвообрабатывающей машины позволит импульсными ударами сжатого воздуха, без разрушения структуры почвы, увеличить производительность и обеспечить возможность проводить как сплошную обработку, так и рядовую с улучшением качественных показателей, сократив расход горючего. *(Выводы)* Разработка конструкции автоматизированной почвообрабатывающей машины для послойной обработки высокотурбулентной воздушной струей создает возможность для сохранения и повышения плодородия почвы.

Ключевые слова: почвообрабатывающая машина, секция, баллон сжатого воздуха, пневмотрубки, клапаны пуска, рабочий орган, зубовая борона.

■ **Для цитирования:** Ахалая Б.Х., Ценч Ю.С., Беляева Н.И. Автоматизированная почвообрабатывающая машина для послойной обработки почвы высокотурбулентной воздушной струей // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. №2. С. 78-83. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-2-78-83. EDN: HQHGAN.

Scientific article

Automated Layer-by-Layer Soil Tillage Machine Using a Highly Turbulent Air Jet

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

Yulia S. Tsench,
Dr.Sc.(Eng.), corresponding member of the RAS,
chief researcher, e-mail: vimasp@mail.ru;
Natalia I. Belyaeva,
junior researcher,
e-mail: _catlin_@mail.ru,

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The paper highlights that preserving and enhancing the soil fertility of agricultural lands remains one of the most pressing challenges for the national economy. In soil conservation farming systems, no-till soil cultivation plays a crucial role in preventing wind and water erosion, regulating the soil's physical, chemical, and biological properties, and optimizing the use of soil and climatic resources to ensure higher and more stable crop yields. (*Research purpose*) To develop an automated layer-by-layer soil tillage machine that utilizes a highly turbulent air jet to improve soil fertility and reduce the traction resistance of the machine-tractor unit. (*Materials and methods*) A design was developed for an automated layer-by-layer soil tillage machine utilizing a highly turbulent air jet. Upon receiving a signal from the control system, pneumatic solenoid valves are activated supplying compressed air to the working tools. The machine is equipped with needle rollers having needles up to 10 centimeters long and disc mills capable of reaching tillage depths of 15–20 centimeters for root crops and 8–12 centimeters for grain crops. The working tools include two arc-shaped blades arranged in sequence with a spacing of 15–20 centimeters; the front blade operates at a depth of 10–12 centimeters, while the rear blade is positioned 10–12 centimeters lower to enable multi-layer soil tillage. (*Results and discussion*) The results demonstrate that the proposed design delivers impulse bursts of compressed air that loosens the soil without disturbing its structure. This improves operational efficiency and supports both continuous and row-specific tillage. Moreover, the system enhances quality indicators and reduces fuel consumption. (*Conclusions*) The development of an automated layer-by-layer soil tillage machine utilizing a highly turbulent air jet offers a promising solution for preserving and improving soil fertility.

Keywords: soil tillage machine, section, compressed air tank, pneumatic tubes, start valves, working tool, tooth harrow.

■ **For citation:** Akhalaya B.Kh., Tsench Yu.S., Belyaeva N.I. Automated layer-by-layer soil tillage machine using a highly turbulent air jet. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N2. 78-83 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-2-78-83. EDN: HQHGAH.

Качественная обработка почвы является необходимым условием реализации потенциала возделываемых сельскохозяйственных культур. Механическое воздействие рабочими органами машин и орудий на почву формирует в ней условия, благоприятные для посева и развития растений, накопления и сохранения влаги, предотвращения эрозии [1]. При разных почвенных условиях послойную обработку за один проход могут выполнить только комбинированные почвообрабатывающие машины [2].

Нетрадиционный метод обработки почвы импульсами высокого давления сжатого воздуха при воздействии на почву способен улучшить плодородие почвы, т.е. ее свойства и качество, а тем самым усилить рост и развитие растений [3, 4].

Использование перспективной технологии обработки почвы с помощью импульсов сжатого воздуха позволяет сочетать его с оборотом пласта при соблюдении между ними большого временного интервала [5]. Положительный эффект сохранения и повышения плодородия почвы достигается, если проводить обработку почвы с оборотом пласта в четыре-пять лет один раз, в зависимости от необходимости [6, 7].

Перед разработкой конструкции комбинированного агрегата прецизионной обработки воздействием сжатого воздуха на почву был проведен патентный анализ почвообрабатывающих машин и устройств с различными принципами действия (RU2335107, 2008; SU1664128; RU2335107, 2008; РФ 2491807, 2012; RU136275, 2013; RU136674, 2014) [8, 9]. Подавляющее большинство работ посвящены тра-

диционным способам обработки почвы. Эти устройства связаны с технологиями, в которых в разной степени происходит механическое воздействие на почву, что могло бы послужить примером поиска аналогов [10].

Приоритетным выбором по верному направлению был почвообрабатывающий агрегат, принцип действия которого основан на использовании воздушного потока высокого давления, действующего в почве проведенной щели рабочим органом в виде щелевателя [11]. Принципиальным недостатком работы агрегата послужила конструктивная особенность. Она заключается в высоком тяговом сопротивлении агрегата, создаваемом вертикально к горизонтальной поверхности установленным щелевателем, по этой причине в низкой рабочей скорости и производительности устройства [12].

Для получения высоких урожаев необходимо развивать новые технологии обработки почвы. Для этой цели в ФНАЦ ВИМ ведутся исследования различных способов воздействия рабочих органов на почву, предложены технологии и технические средства для обработки почвы импульсными ударами сжатого воздуха. На разработанную конструкцию автоматизированной почвообрабатывающей машины для послойной обработки почвы высокотурбулентной воздушной струей получен патент RU 2740583, 2021 г. [13].

Цель исследования: разработка автоматизированной почвообрабатывающей машины для послойной обработки высокотурбулентной воздушной струей, повышающей плодородие почвы и снижающей тяговое сопротивление агрегата.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Выполнен анализ агроприемов обработки залежных земель и восстановления плодородия при вовлечении их в сельскохозяйственный оборот и разработаны исходные требования на базовую машинную технологическую операцию ресурсосберегающей основной обработки таких почв.

Многочисленные исследования и практический опыт передовых хозяйств убедительно показывают, что наиболее агротехническим эффективным и значительно менее затратным путем решения задачи сохранения и повышения плодородия почвы является использование перспективного способа обработки почвы с применением импульсов сжатого воздуха [14].

Технология внутривспашечной обработки предусматривает рыхление пульсирующими ударами сжатого воздуха на установочную глубину обработки рядами. Соотношение скорости агрегата, частоты импульсов, радиуса действия импульса и глубины обработки почвы определены условием 3:4:5:10.

Экспериментально установлено, что, к примеру, если скорость агрегата $V = 6$ км/ч, то при обработке почвы на глубину 20 см с радиусом действия импульса 10 см, частота импульса составит $n = 8$ Гц. При этом, для сплошной обработки почвы линии соседних импульсных рядов должны размещаться на расстоянии 20 см [15].

К примеру, если обрабатывать почву под кукурузу с междурядьем 70 см сжатым воздухом с радиусом действия 10 см, то необработанная полоса в междурядье составит: $70 - (10 + 10) = 50$ см.

Технология обработки импульсными ударами сжатого воздуха позволяет без разрушения структуры почвы увеличить производительность и обеспечивает возможность проводить как сплошную обработку, так и рядовую с улучшением качественных показателей, сократить расход горючего. В каждой конкретной почве наблюдается специфическая зависимость напряжений и деформаций [16].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Перед разработкой агрегата с импульсными ударами сжатого воздуха был проведен поиск по выявлению близкого технического решения. В ФНАЦ ВИМ ведутся разработки конструкций почвообрабатывающих агрегатов различной модификации и комплектации рабочих органов по назначению и принципу действия. На разработки получены патенты на изобретение (RU2679735, 2019; RU2679736, 2019; RU2702863, 2019; RU2701 813, 2019; RU2745458, 2021).

Автоматизированная почвообрабатывающая машина для послойной обработки высокотурбулентной воздушной струей (рисунк), состоит из двух боковых секций 1, 2 и одной центральной секции 3, изготовленной со сницей 4, опорными 5 и транспортными 6 колесами и баллоном 7 сжатого воздуха.

Передняя рама всех секций изготовлена с полым валом 8, которые связаны с баллоном сжатого воздуха 7, системой пуска сжатого воздуха 9, полых ступиц 10 с установленными на них рабочими органами 11 овальной формы с клапанами 12, позади установлены дисковые фрезы 13 и катки 14.

Рабочие органы 11 изготовлены с заточкой режущей части и размещены между собой на расстоянии 15-20 см. Передний рабочий орган закреплен на раме с рабочей глубиной 10-12 см, а следующий за ним – на столько же ниже. С трех сторон рабочих органов на высоте 5 см от их носка размещены три выпускных клапана 12. Из отверстия передних частей рабочих органов сжатый воздух подается параллельно горизонтальной поверхности, а боковые под острым углом к ней, радиус действия импульсов сжатого воздуха равен 5 см.

В состав рабочего органа входят пневмоэлектрклапаны 15, 17, микрорессиверы 16, поршень 18, цилиндры 19, 21. Винтовым механизмом 20, перекрывающим клапан, осуществляется отключение и включение от общей заправочной магистрали.

По мере открытия клапанов 15 заполняются все микрорессиверы 16 секций 1-3 (трубопроводы не показаны) сжатым воздухом высокого давления.

Таким образом, все микрорессиверы 16 приводятся в подготовленное состояние для подачи малобъемного импульса сжатого воздуха к клапанам 12 через полый вал 8. После команды системы управления начинают действовать пневмоэлектрклапаны 17, что способствует переходу сжатого воздуха большого давления из микрорессиверов в полый вал. После чего сжатый воздух поступает к клапанам 12, которые закреплены в рабочих органах 11 изнутри с выходом воздуха спереди и по бокам через ступицу 10.

После углубления овальных рабочих органов 11 в почву на разные глубины обработки клапаны 12 открываются и сжатый воздух высокого давления импульсным воздействием производит рыхление почвы. После прохода автоматизированной почвообрабатывающей машины образуется рыхлый слой, препятствующий интенсивному испарению воды из корнеобитаемого слоя. В результате улучшаются водный и воздушный режимы почвы, создаются благоприятные условия для дружных всходов, роста и развития сельскохозяйственных культур.

Ресурсосберегающие агроприемы восстановления плодородия и продуктивности земель обеспечивают сокращение энергозатрат на обработку почвы на 25-35% за счет рационального рыхления и использования естественных процессов разуплотнения почв, сохранения влаги, предотвращения эрозии при почвозащитной разноглубинной и послойно-полосной обработках. Многофункциона-

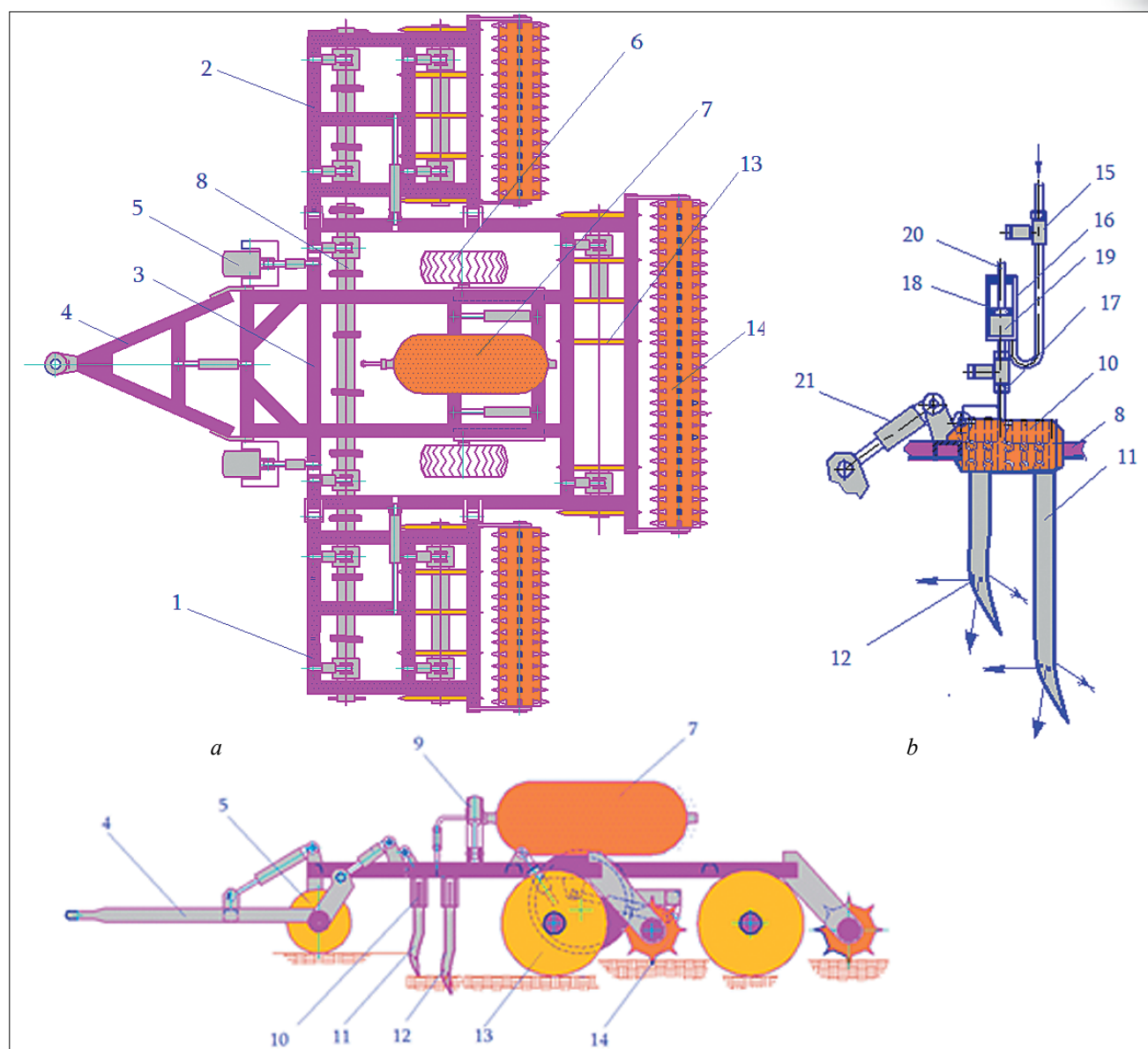


Рисунок. Автоматизированная установка для послойной обработки почвы: а – общая схема; б – рабочий орган
Figure. Automated layer-by-layer soil cultivation machine a – general schematic; b – working tool (soil-cutting implement)

нальная автоматизированная почвообрабатывающая машина со сменными рабочими органами обеспечит сокращение в 1,5-2 раза затрат на технику.

Выводы. Решением поставленной задачи путем создания технических средств для обработки почвы пульсирующими ударами сжатого воздуха открывается новая возможность сохранения и повышения плодородия почвы и улучшения экологических и экономических показателей.

В результате в нижних слоях происходит обогащение почвы воздухом, содержащим до 80% свободного азота. Существенно улучшаются инфильтрационные свойства почвы. Все это в совокупности способствует реальному повышению плодородия почвы.

Внедрение всего комплекса мер альтернативной обработки почвы позволит поднять экономическую эффективность и повысить общую агротехническую культуру производства продукции растениеводства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П. Перспективные пути применения энерго- и экологически эффективных машинных технологий и технических средств // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2013. N4. С. 8-11. EDN: QZKYNV.
2. 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.

3. Дорохов А.С., Сибирев А.В., Аксенов А.Г., Мосяков М.А. Аналитическое обоснование системы автоматического контроля глубины обработки почвы // *Агроинженерия*. 2021. N(103). С. 19-23. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-19-23.
4. 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: 10.22314/2073-7599-2017-2-37-41.
5. Ахалая Б.Х., Старовойтов С.И., Ценч Ю.С. и др. Комбинированный агрегат с универсальным рабочим органом для поверхностной обработки почвы // *Техника и оборудование для села*. 2020. N8 (278). С. 8-11. DOI: 10.33267/2072-9642-2020-8-8-11.
6. Ахалая Б.Х. Культиватор с универсальным глубоко-рыхлителем // *Сельский механизатор*. 2016. N5. 12-13. EDN: WAIJIR.
7. Русинов А.В., Слюсаренко В.В. Влияние многократных проходов колес по одному следу на деформацию почвы // *Техника в сельском хозяйстве*. 2005. N4. С.46-51 (In Russian). EDN: UJNFQL.
8. Измайлов, А.Ю., Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С. и др. О синтезе роботизированного сельскохозяйственного агрегата // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2019. N4. С. 63-68. DOI: 10.30850/vrsn/2019/4/63-68.
9. Миронова А.В., Лискин И.В., Панов А.И. Технология восстановления целинных и залежных земель // *Технический сервис машин*. 2020. N2 (139). С. 111-121. DOI: 10.22314/2618-8287-2020-58-2-111-121.
10. Цепляев А.Н., Косильников Р.А., Цепляев В.А. др. Снижение тягового сопротивления сельскохозяйственных машин за счет минимализации его колебаний при обработке тяжелосуглинистых почв // *Агроинженерия*. 2019. N2 (90). С. 14-19. EDN: UTZXZN.
11. Лискин И.В., Миронова А.В. Обоснование искусственной почвенной среды для лабораторных исследований износа и тяговых характеристик почворезущих рабочих органов // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. N3. С. 53-58. DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-3-53-58.
12. Ахалая Б.Х. Совершенствование технологии заготовки качественных кормов // *Вестник ВНИИМЖ*. 2009. Т. 20. N2 . С. 118-122. EDN: NPUEWZ.
13. Ахалая Б.Х., Шогенов Ю.Х., Старовойтов С.И., Ценч Ю.С. Трехсекционный почвообрабатывающий агрегат с универсальными сменными рабочими органами // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2019. Т. 14. N3(54). С. 92-95. DOI: 10.12737/article_5db9656e2ade23.01560949.
14. Жук А.Ф., Шишиморов С.А., Юнусов Г.С., Пустотин А.М. Комбинированный агрегат АПК-6 // *Сельский механизатор*. 2017. N8. С. 18-19. EDN: ZBIXIJ.
15. Старовойтов С.И., Ценч Ю.С., Коротченя В.М., Личман Г.И. Технические системы цифрового контроля качества обработки почвы // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. N1 С. 16-21. DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-1-16-21.
16. Ахалая Б.Х., Ценч Ю.С. Комбинированный агрегат для обработки почвы импульсным воздействием ударной волны // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. N4. С. 62-67. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-62-67.

REFERENCES

1. Izmailov A.Yu., Lobachevsky Ya.P. Promising ways of applying energy and environmentally efficient machine technologies and technical means. *Agricultural Machinery and Technology*. 2013. N4. 8-11 (In Russian). EDN: QZKYNV.
2. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Mazitov N.K. Soil-cultivating machinery: ways of import substitution. *Agricultural Machinery and Technology*. 2017. N2. 37-42 (In Russian). DOI: 10.22314/207375992017.2.3741.
3. Dorokhov A.S., Sibiryov A.V., Aksekov A.G., Mosyakov M.A. Analytical feasibility study of the automatic control system of tillage depth. *Agroengineering*. 2021. N3(103). 19-23 (In Russian). DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-19-23.
4. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Mazitov N.K. Soil-cultivating machinery: ways of import substitution. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2017. N2. 37-42 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2017-2-37-41.
5. Akhalaya B.Kh., Tsench Yu.S., Starovoitov S.I. et al. A combined unit fitted with a versatile working body for surface tillage. *Machinery and Equipment for Rural Areas*. 2020. N8 (278). 8-11 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2020-8-8-11.
6. Akhalaya B.Kh. Cultivator with universal chisel. *Selskiy Mechanizator*. 2016. N5. 12-13 (In Russian). EDN: WAIJIR.
7. Rusinov A.V., Slyusarenko V.V. The effect of multiple wheel passes over one track on soil deformation. *Machinery in Agriculture*. 2005. No4. 46-51 (In Russian). EDN: UJNFQL.
8. Izmaylov A.Yu., Lobachevsky Ya.P., Tsench Yu.S. et al. about synthesis of robotic agriculture mobile machine. *Vestnik of the Russian Agricultural Science*. 2019. N4. 63-68 (In Russian). DOI: 10.30850/vrsn/2019/4/63-68.
9. Mironova A.V., Liskin I.V., Panov A.I. Technology for restoring virgin and fallow lands. *Machinery Technical Service*. 2020. N2 (139). 111-121 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2020-58-2-111-121.
10. Tseplyayev A.N., Kosulnikov R.A., Tseplyayev V.A. et al. Reducing traction resistance of agricultural machines by minimalizing its fluctuations when tilling heavy-loamy soils. *Agricultural Engineering*. 2019. N2(90). 14-19 (In Russian).
11. Liskin I.V., Mironova A.V. Artificial soil environment

- justification for laboratory studies of wear and traction characteristics of soil-cutting working bodies. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2020. Vol. 14. N3. 53-58 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-3-53-58.
12. Ahalaya B.H. Improving the technology of harvesting high-quality feed. *Journal of VNIIMZH*. 2009. Vol. 20. N2. 118-122 (In Russian). EDN: NPUEWZ.
 13. Ahalaya B., Shogenov Yu., Starovoytov S.I., Tsench Yu.S. Three-section tillage unit with universal replaceable working bodies. *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2019. Vol. 14. N3(54). 92-95 (In Russian). DOI: 10.12737/article_5db9656e2ade23.01560949.
 14. Zhuk A.F., Shishimorov S.A., Yunusov G.S., Pustotin A.M. Combined unit APR-6. *Selskiy Mechanizator*. 2017. N8. 18-19 (In Russian). EDN: ZBIXIJ.
 15. Starovoytov S.I., Tsench Yu.S., Korotchenya V.M., Lichman G.I. Technical systems for digital soil quality control. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2020. Vol. 14. N1. 16-21 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-1-16-21.
 16. Akhalaya B.Kh., Tsench Yu.S. Combined unit for tillage with pulsed shock wave action. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023. Vol. 17. N4. 62-67 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-62-67.

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 параметров Автоматизированной почвообрабатывающей машины для послойной обработки почвы, определение методики исследования;

Ценч Ю.С. – постановка цели исследования, критический анализ, формирование общих выводов;

Беляева Н.И. – анализ литературных данных подготовка текста

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Akhalaya B.Kh. – developing the design schemes and parameters of an automated layer-by-layer soil tillage machine, determining the research methodology;

Tsench Yu.S. – formulating the research goal, conducting critical analysis, developing the overall conclusions;

Belyaeva N.I. – conducting the literature review and preparing the manuscript

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

03.04.2025

22.05.2025