

Научная статья

УДК 631.316

doi:10.35694/YARCX.2025.72.4.017

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО АГРЕГАТА, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО ОБРАБОТКУ СО СНИЖЕНИЕМ ЭРОЗИИ ПОЧВЫ

Алексей Владимирович Русинов¹, Владимир Евгеньевич Липовский²

^{1,2}Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова, Саратов, Россия

¹Rusinovsar@yandex.ru

²79873052495@yandex.ru

Реферат. Главной задачей сельскохозяйственного производства является сохранность плодородия почвы и получение стабильно высоких урожаев. В климатических условиях Саратовской области особое внимание уделяется обработке почвы на полях, имеющих уклоны, с целью снижения поверхностного стока и эрозии почвы, а также для повышения влагозапаса и урожая сельскохозяйственных культур. В связи с этим предложена новая конструкция почвообрабатывающего агрегата, обеспечивающего обработку почвы с нарезанием водозадерживающих борозд синусоидального характера. Представлено описание конструкции нового почвообрабатывающего агрегата и определены аналитические зависимости, позволяющие определить его основные конструктивно-технологические параметры. Выполнены расчёты конструктивно-технологических параметров предлагаемого почвообрабатывающего агрегата, позволяющие определить их величину с учётом ширины захвата. Установлено, что при достижении максимальной величины амплитуды водозадерживающей борозды $A_с = 0,1$ м и увеличении ширины захвата почвообрабатывающего агрегата с 5 м до 20 м необходимо увеличивать расстояние от места крепления поворотного круга до места шарнирного крепления рабочего органа на раме почвообрабатывающего агрегата в диапазоне от 0,12 м до 0,61 м в зависимости от величины смещения крепления тяги на поворотном круге относительно центра его вращения, тогда длина тяг будет находиться в диапазоне от 2,5 м до 10,02 м. На величину периода синусоидального характера водозадерживающей борозды оказывает влияние скорость движения трактора, и её увеличение с 6 км/ч до 12 км/ч приводит к увеличению указанного периода с 0,01 м до 0,104 м.

Ключевые слова: водозадерживающая борозда синусоидального характера, луцильник, эрозия почвы, почвообрабатывающий агрегат

THEORETICAL BASIS FOR CREATING A TILLAGE UNIT THAT PROVIDES TILLAGE WITH REDUCED SOIL EROSION

Aleksey V. Rusinov¹, Vladimir E. Lipovskiy²

^{1,2}Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russia

¹Rusinovsar@yandex.ru

²79873052495@yandex.ru

Abstract. The main task of agricultural production is to preserve soil fertility and obtain consistently high yields. In the climatic conditions of the Saratov region, special attention is paid to tillage in fields with slopes in order to reduce surface runoff and soil erosion, as well as to increase moisture content and crop yield. In this regard, a new design of a tillage unit is proposed, which provides tillage with cutting of water-retaining furrows of a sinusoidal nature. A description of the design of a new tillage unit was presented and analytical relationships were defined to determine its main structural and technological parameters. Calculations of the structural and technological parameters of the proposed tillage unit were performed, which make it possible to determine their value taking into account the operating width. It has been found that when the maximum value of the amplitude of the water-retaining furrow reaches $A_f = 0.1$ m and the operating width of the tillage unit increases from 5 m to 20 m, it is necessary to increase the distance from the attaching point of slewing circle to the hinge mount of attaching point of the working body on the frame of the tillage unit in the range from 0.12 m to 0.61 m depending on the offset value of the clevis mount on the slewing circle to the center of its rotation, then the length of the rods will be in the range from 2.5 m to 10.02 m. The value of the period of the sinusoidal nature of the water-retaining furrow is influenced by the speed of the tractor, and its increase from 6 km/h to 12 km/h leads to an increase in this period from 0.01 m to 0.104 m.

Keywords: sinusoidal water-retaining furrow, hoeing plough, soil erosion, and tillage unit

Теоретические основы создания почвообрабатывающего агрегата, обеспечивающего обработку со снижением эрозии почвы

Введение. В Саратовской области хорошо развито сельскохозяйственное производство, в частности растениеводство. Так как территория области располагается в сложных климатических и рельефных условиях, то для обеспечения стабильно высоких урожаев требуется применение новых технологий возделывания сельскохозяйственных культур. Многолетними исследованиями установлено, что наибольшее количество осадков выпадает в зимний период времени [1]. Весной происходит таяние снега и на полях, имеющих даже небольшой уклон (до 2%), происходит поверхностный сток с выносом плодородного слоя почвы массой 0,3–0,6 т/га, что вызывает снижение плодородия почвы и образование эрозии [2; 3]. Помимо потерь плодородного слоя почвы и гумуса, также происходит снижение влаги в почве, что вызывает её дефицит в вегетационный период сельскохозяйственных растений, приводящий к снижению урожая или гибели посевов. Для эффективной борьбы с эрозией почвы используются разные агротехнические методы, такие как обработка почвы поперёк склона, глубокое рыхление, мульчирование и другие способы обработки почвы с применением новых почвообрабатывающих агрегатов [4; 5]. Однако все имеющиеся методы и конструкции почвообрабатывающих агрегатов имеют ряд недостатков, связанных с прямолинейной обработкой почвы, после которой происходит свободное движение воды. Установлено, что наиболее перспективным способом обработки почвы, обеспечивающим снижение её эрозии и накопления влаги в ней, является обработка почвы с формированием криволинейных водозадерживающих борозд [6]. Но создание почвообрабатывающих агрегатов, обеспечивающих нарезание криволинейных водозадерживающих борозд в процессе обработки почвы, требует детального рассмотрения конструкции и обоснования её параметров.

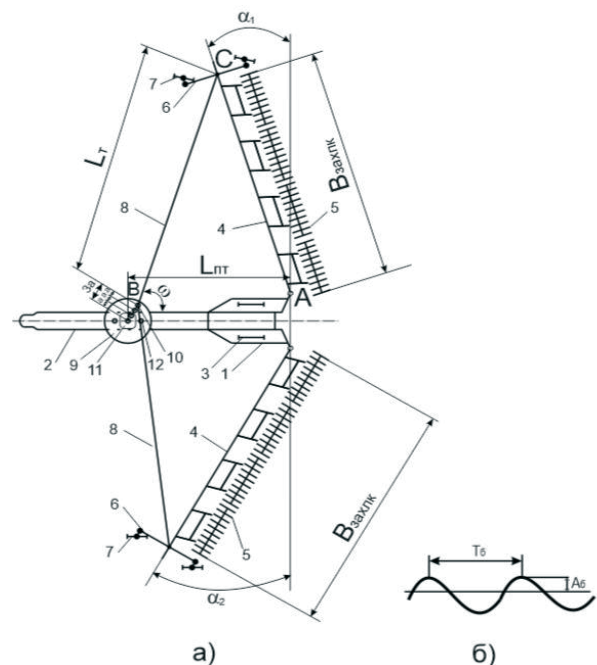
В связи с вышеизложенным, целью данной работы является теоретическое исследование обоснования конструктивно-технологических параметров почвообрабатывающего агрегата, обеспечивающего поверхностную обработку почвы на полях со сложным рельефом с формированием водозадерживающих борозд.

Материалы и методы. В ходе анализа существующих конструкций почвообрабатывающих агрегатов, обеспечивающих обработку почвы с формированием водозадерживающих борозд [7; 8; 9], было установлено, что все они имеют ряд значительных недостатков, связанных со сложностью конструкции и отсутствием возможности обеспечивать плавное изменение угла положения рабочего органа относительно направления движения для формирования криволинейной водозадерживающей борозды на поверхности поля.

С целью устранения вышеизложенных недостатков нами предлагается новая конструкция почвообрабатывающего агрегата, обеспечивающего формирование на поверхности поля криволинейной водозадерживающей борозды в процессе обработки почвы. Предлагаемый агрегат (рис. 1а) состоит из рамы 1 с прицепным устройством 2 и ходовыми колёсами 3, боковыми брусьями 4 с рабочими органами 5. На концах боковых брусьев 4 с помощью шарниров крепится опорная каретка 6 с

установленными на ней опорными колёсами 7, также имеющими шарнирное крепление с возможностью поворачиваться по направлению движения почвообрабатывающего агрегата. На опорной каретке 6 шарнирно крепится телескопическая или гибкая тяга 8, другой конец тяги закреплён на поворотном круге 9 в одном из трёх шарнирных соединений 10, расположенных друг относительно друга на расстоянии «а». Тяги 8 на шарнирном соединении 10 крепятся на одной оси с возможностью свободного вращения. Вращение поворотного круга с заданной угловой скоростью ω осуществляется гидромотором 11, установленным в нижней части рамы 1, а вал гидромотора крепится на поворотном круге 9 в центральной части. Также в раме 1 предусмотрены три отверстия 12, выполненные равноудалённо относительно центрального отверстия и необходимые для установки гидромотора с поворотным кругом, что в дальнейшем позволит изменять углы атаки α_1 и α_2 рабочих органов.

Предлагаемый почвообрабатывающий агрегат обеспечивает нарезание на поверхности поля криволинейной водозадерживающей борозды синусоидального характера с амплитудой A_6 и периодом T_6 , рисунок 1б. Для обеспечения формирования криволинейной борозды необходимо, чтобы в процессе движения трактора и перемещения почвообрабатывающего агрегата происходило вращение поворотного круга 9 с заданной угловой скоростью. При вращении поворотного круга шарнирно закреплённые на нём тяги 8 начинают изменять своё положение относительно рамы почвообрабатывающего агрегата в противофазе и тем самым изменять



а – общий вид почвообрабатывающего агрегата (вид сверху);
б – схема нарезаемой криволинейной водозадерживающей борозды на поверхности поля.

Рисунок 1 – Почвообрабатывающий агрегат, обеспечивающий формирование на поверхности поля криволинейной водозадерживающей борозды в процессе обработки почвы

попеременно углы атаки α_1 и α_2 рабочих органов, расположенных по обе стороны относительно продольной оси почвообрабатывающего агрегата. Синхронизация движения трактора по полю и скорость вращения поворотного круга обеспечивают в процессе обработки почвы нарезание на поверхности поля водозадерживающую борозду синусоидального характера с оптимальными параметрами амплитуды и периода.

Установлено, что на величину амплитуды водозадерживающей борозды оказывают влияние геометрические параметры почвообрабатывающего агрегата, а в частности длина продольных тяг L_{nr} , место их крепления на поворотном круге относительно центра вращения Za , ширина захвата крыла почвообрабатывающего агрегата (рабочего органа) $B_{захлк}$ и расстояние от места крепления поворотного круга до места шарнирного крепления рабочего органа на раме почвообрабатывающего агрегата L_{nr} .

Для определения оптимальных геометрических параметров рабочего органа, обеспечивающего нарезание водозадерживающей борозды амплитудой A_b , рассмотрим треугольник ABC, стороны которого являются основными конструктивными элементами предлагаемого рабочего органа. Амплитуда борозды равна нулю $A_b = 0$ при условии, что сторона AC = $B_{захлк}$ и располагается перпендикулярно направлению движения почвообрабатывающего агрегата, а угол $\alpha_1 = 0$. Это условие соответствует максимальной величине перемещения тяги на поворотном круге на величину Za .

Исследованиями установлено, что оптимальная величина амплитуды водозадерживающей борозды составляет, в зависимости от уклона поверхности поля, $A_b = 8-10$ см [6]. Это достигается путём поворота рабочего органа в точке А против направления движения на угол α_1 , который можно определить из условия:

$$\cos \alpha_1 = \frac{B_{захлк} - A_b}{B_{захлк}}, \quad (1)$$

где $B_{захлк}$ – ширина захвата одного крыла почвообрабатывающего агрегата, м; A_b – величина амплитуды водозадерживающей борозды, м.

Поворот рабочего органа на величину A_b обеспечивается поворотом поворотного круга на максимальную величину, составляющую $6a$, что соответствует повороту треугольника ABC на угол α_3 , который определяется как:

$$\cos \alpha_3 = \frac{6a}{L_{nm}}, \quad (2)$$

где a – величина смещения крепления тяги на поворотном круге относительно центра его вращения, м; L_{nr} – расстояние от места крепления поворотного круга до места шарнирного крепления рабочего органа на раме почвообрабатывающего агрегата, м.

Исходя из условия, что поворот рабочего органа на угол α_1 , соответствующий максимальной величине $A_b = \max$, происходит при максимальной величине угла α_3 , тогда зависимость, позволяющая обеспечить взаимосвязь параметров a и L_{nr} с учётом ширины захвата рабочего органа, выглядит как:

$$L_{nm} = \frac{6a}{1 - \frac{A_b}{B_{захлк}}}. \quad (3)$$

Сделав допущение, что рассматриваемый $\triangle ABC$ является прямоугольным, и зная величину L_{nr} , можно определить оптимальную величину длины тяг L_r с учётом ширины захвата рабочего органа:

$$L_m = \sqrt{B_{захлк}^2 + \left(\frac{6a}{1 - \frac{A_b}{B_{захлк}}} \right)^2}. \quad (4)$$

По представленным зависимостям можно определить оптимальные конструктивные параметры рабочего органа, обеспечивающего нарезание водозадерживающей борозды амплитудой A_b . Вторым параметром водозадерживающей борозды является её период T_b , который определяется исходя из технологических параметров работы почвообрабатывающего агрегата, а в частности скоростей обработки почвы и вращения поворотного круга. Зная, что период синусоидального характера водозадерживающей борозды выполняется за один оборот поворотного круга, можно определить связь между конструктивно-технологическими параметрами почвообрабатывающего агрегата, обеспечивающего нарезание водозадерживающей борозды с периодом T_b :

$$T_b = \frac{v_p a \pi}{10}, \quad (5)$$

где v_p – рабочая скорость почвообрабатывающего агрегата, м/с.

С целью определения оптимальных конструктивно-технологических параметров почвообрабатывающего агрегата, обеспечивающего нарезание водозадерживающей борозды синусоидального характера, были проведены аналитические расчёты, представленные ниже.

Результаты и обсуждение. Аналитические расчёты по определению оптимальных конструктивно-технологических параметров почвообрабатывающего агрегата, обеспечивающего нарезание водозадерживающей борозды синусоидального характера, выполнялись на примере луцильников ЛДГ-5А, ЛДГ-10Б, ЛДГ-15Б, ЛДГ-20. Согласно данным технических характеристик, в зависимости от тягового класса базового трактора, ширина захвата луцильников может варьироваться от 5 до 20 м. При достижении максимальной величины амплитуды водозадерживающей борозды $A_b = 0,1$ м установлено, что с увеличением ширины захвата почвообрабатывающего агрегата с 5 м до 20 м необходимо увеличивать расстояние от места крепления поворотного круга до места шарнирного крепления рабочего органа на раме почвообрабатывающего агрегата в диапазоне от 0,12 м до 0,61 м в зависимости от величины смещения крепления тяги на поворотном круге относительно центра его вращения, рисунок 2.

Аналогичная ситуация прослеживается и с величиной длины тяг, обеспечивающих отклонение рабочего

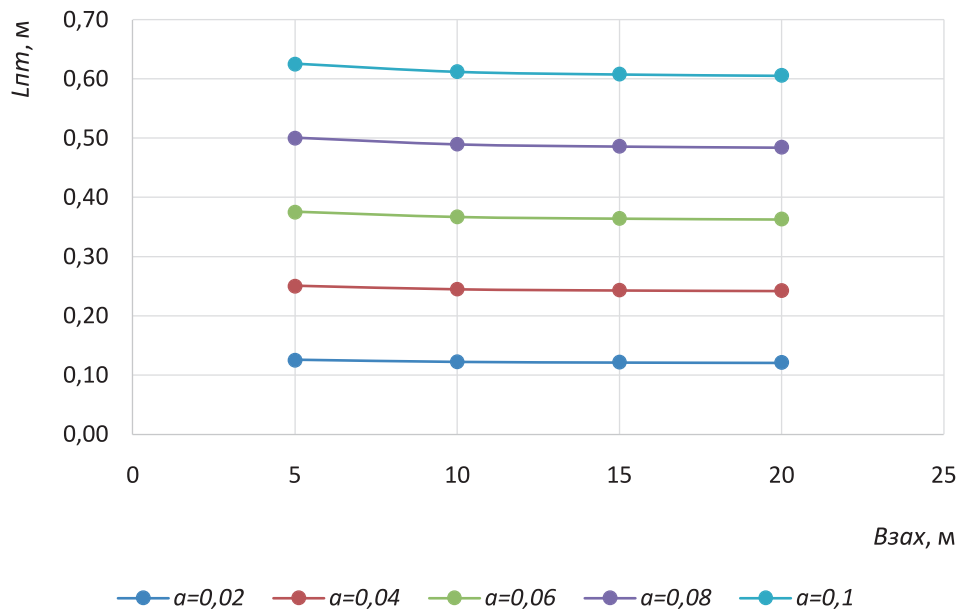


Рисунок 2 – Влияние ширины захвата почвообрабатывающего агрегата ($B_{зах}$, м) на расстояние от места крепления поворотного круга до места шарнирного крепления рабочего органа на раме почвообрабатывающего агрегата ($L_{пт}$, м)

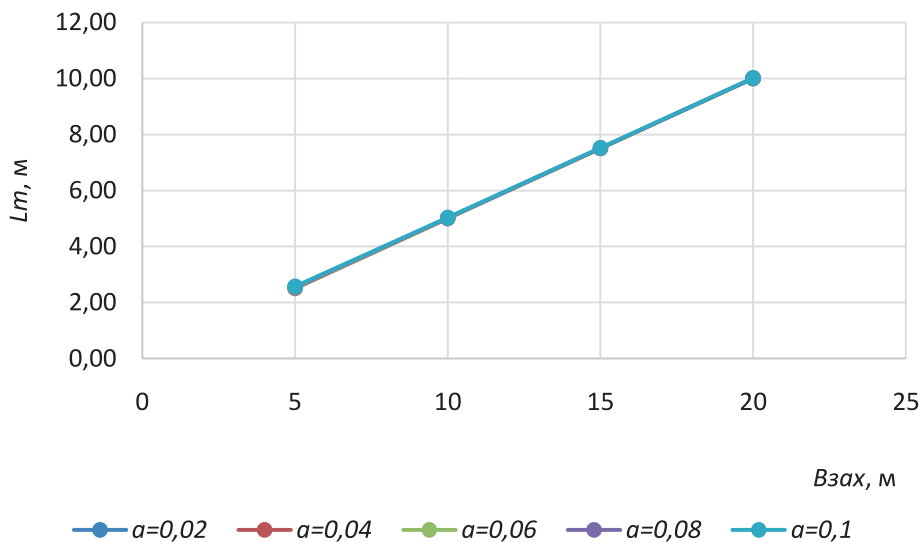


Рисунок 3 – Влияние ширины захвата почвообрабатывающего агрегата ($B_{зах}$, м) на длину тяг (L_t , м)

органа на угол α , рисунок 3. Расчёты показали, что с увеличением ширины захвата почвообрабатывающего агрегата с 5 м до 20 м необходимо обеспечивать длину тяг от 2,5 м до 10,02 м в зависимости от величины смещения крепления тяги на поворотном круге относительно центра его вращения.

При рассмотрении периода синусоидального характера водозадерживающей борозды было установлено, что повышение скорости движения трактора с 6 км/ч до 12 км/ч приводит к увеличению периода с 0,01 м до 0,104 м в зависимости от величины смещения крепления тяги на поворотном круге относительно центра его вращения и однократном повороте круга, рисунок 4. Снижение частоты вращения поворотного круга с 1 об/с до 0,5 об/с позволит увеличить период синусоидального характера борозды с 0,02 м до 0,208 м. Дальнейшее кратное снижение частоты вращения поворотного кру-

га обеспечивает кратное увеличение периода синусоидального характера борозды.

Представленные аналитические зависимости и их теоретическое обоснование позволяют определить оптимальные конструктивно-технологические параметры почвообрабатывающего агрегата, обеспечивающего нарезание водозадерживающей борозды синусоидального характера в зависимости от ширины захвата.

Выводы. Проведённый анализ недостатков существующих конструкций почвообрабатывающих агрегатов, обеспечивающих обработку почвы с формированием водозадерживающей борозды синусоидального характера, позволил разработать новую конструкцию почвообрабатывающего агрегата, позволяющего изменять попеременно угол атаки рабочих органов, расположенных по обе стороны относительно продольной оси рамы агрегата. Такое конструктивное выполнение

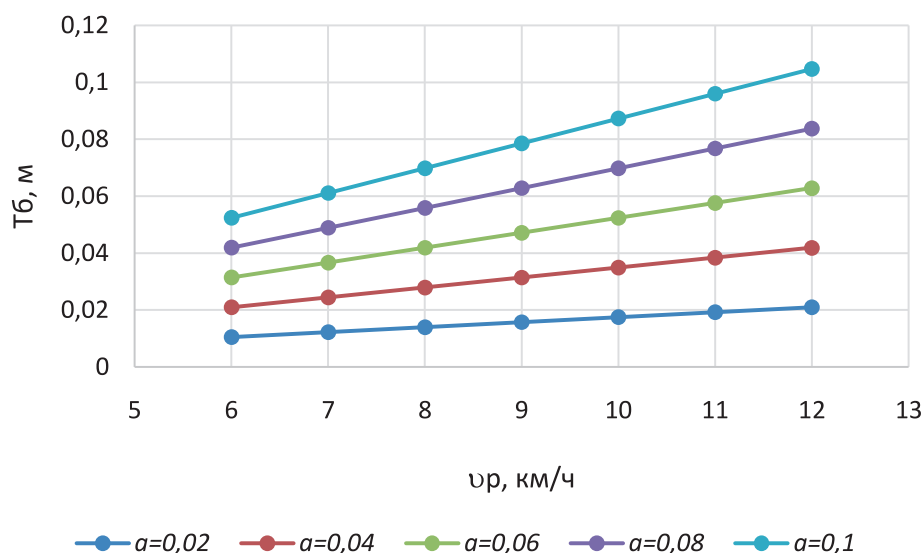


Рисунок 4 – Влияние скорости движения трактора (v_p , км/ч) на величину периода синусоидального характера водозадерживающей борозды (T_b , м)

позволит выполнять качественную обработку почвы с предотвращением образования эрозионных процессов, особенно на полях, имеющих уклон, а также обеспечивать повышение влагозапаса в почве, что позволит увеличить урожай сельскохозяйственных культур.

Полученные аналитические зависимости позволяют определить конструктивно-технологические параметры новой конструкции почвообрабатывающего агрегата. Выполненные расчёты позволили определить оптимальные параметры предлагаемого почвообрабатывающего агрегата с учётом ширины его захвата.

Список источников

1. Левицкая Н. Г., Демакина И. И. Современные изменения климата Саратовской области и стратегия адаптации к ним селекции и агротехнологий // Успехи современного естествознания. 2019. № 10. С. 7–12. DOI 10.17513/use.37206. EDN GTBQFK.
2. Догеев Г. Д., Халилов М. Б. Ресурсосберегающие влагонакопительные агроприемы и машины // Проблемы развития АПК региона. 2021. № 1 (45). С. 43–50. DOI 10.52671/20790996_2021_1_43. EDN DDDCNJ.
3. Балакай Н. И., Балакай Г. Т., Полуэктов Е. В. Особенности стока талых вод с рыхлой и уплотненной пашни на черноземах обыкновенных в условиях Ростовской области // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2016. № 3 (23). С. 66–82. EDN WHGGIF.
4. Аушев М. К., Куриева М. М., Плиева А. А., Дзармотов С. И. Обоснование нового метода и технического средства борьбы с водной эрозией на склоновых почвах Центрального Кавказа // Проблемы развития АПК региона. 2021. № 2 (46). С. 11–17. DOI 10.52671/20790996_2021_2_11. EDN CXIKIO.
5. Осипов А. В., Колесниченко Т. В., Димитриенко О. В. Виды эрозии почв и методы борьбы с ней в Краснодарском крае // Тенденции развития науки и образования. 2021. № 80-7. С. 139–142. DOI 10.18411/trnio-12-2021-345. EDN MFNSDP.
6. Рабочие органы для обработки почвы с водозадерживающим прерывистым бороздованием // Научная жизнь. 2019. Т. 14, № 3 (91). – С. 337–347. DOI 10.26088/INOV.2019.91.30052. EDN GOBNJU.
7. Пат. 2211552 С1 Российская Федерация, МПК А01В 7/00, А01В 51/00. Модульное почвообрабатывающее орудие / С. А. Сметанкин, Ю. И. Руднев, Н. К. Мазитов [и др.]; заявитель и патентообладатель ГУП Завод «Сибсельмаш-Спецтехника». № 2002104147/13; заявл. 14.02.2002; опубл. 10.09.2003, Бюл. № 25.
8. Авторское свидетельство 1764526 А1 СССР, А01В 7/00, А01В 73/00. Широкозахватное почвообрабатывающее орудие / В. Ф. Рясный, Ю. А. Гебель, С. А. Сметанкин; заявитель Производственное объединение «Сибсельмаш». № 4897975/15; заявл. 29.12.1990; опубл. 30.09.1992, Бюл. № 36.
9. Пат. 2369061 С1 Российская Федерация, МПК А01В 73/06. Противоэрозионное широкозахватное орудие / А. Ф. Рогачев, Н. Н. Скитер, А. М. Салдаев [и др.]; патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Волгоградская государственная сельскохозяйственная академия». № 2008118957/12; заявл. 13.05.2008; опубл. 10.10.2009, Бюл. № 28. 10 с.

References

1. Levitskaya N. G., Demakina I. I. Sovremennyye izmeneniya klimata Saratovskoy oblasti i strategiya adaptatsii k nim selektsii i agrotekhnologiy // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2019. № 10. S. 7–12. DOI 10.17513/use.37206. EDN GTBQFK.
2. Dogeev G. D., Khalilov M. B. Resursosberegayushchie vlagonakopitel'nye agropriemy i mashiny // Problemy razvitiya APK regiona. 2021. № 1 (45). S. 43–50. DOI 10.52671/20790996_2021_1_43. EDN DDDCNJ.
3. Balakaj N. I., Balakaj G. T., Poluektov E. V. Osobennosti stoka talyh vod s ryhloy i uplotnennoj pashni na chernozemah obyknovennyh v usloviyah Rostovskoy oblasti // Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioratsii. 2016. № 3 (23). S. 66–82. EDN WHGGIF.
4. Aushev M. K., Kurieva M. M., Plieva A. A., Dzarmotov S. I. Obosnovanie novogo metoda i tekhnicheskogo sredstva bor'by s vodnoy eroziyej na sklonovyh pochvah Central'nogo Kavkaza // Problemy razvitiya APK regiona. 2021. № 2 (46). S. 11–17. DOI 10.52671/20790996_2021_2_11. EDN CXIKIO.

5. Osipov A. V., Kolesnichenko T. V., Dimitrienko O. V. Vidy erozii pochv i metody bor'by s nej v Krasnodarskom krae // Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya. 2021. № 80-7. S. 139–142. DOI 10.18411/trnio-12-2021-345. EDN MFNSDP.
6. Rabochie organy dlya obrabotki pochvy s vodozaderzhivayushchim preryvistym borozdovaniem // Nauchnaya zhizn'. 2019. T. 14, № 3 (91). – S. 337–347. DOI 10.26088/INOB.2019.91.30052. EDN GOBNJU.
7. Pat. 2211552 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK A01B 7/00, A01B 51/00. Modul'noe pochvoobrabatyvayushchee orudie / S. A. Smetankin, Yu. I. Rudnev, N. K. Mazitov [i dr.] ; zayavitel' i patentoobladatel' GUP Zavod «Sibsel'mash-Spectekhnika». № 2002104147/13 ; zayavl. 14.02.2002 ; opubl. 10.09.2003, Byul. № 25.
8. Avtorskoe svidetel'stvo 1764526 A1 SSSR, A01B 7/00, A01B 73/00. SHirokozahvatnoe pochvoobrabatyvayushchee orudie / V. F. Ryasnyj, Yu. A. Gebel', S. A. Smetankin ; zayavitel' Proizvodstvennoe ob"edinenie «Sibsel'mash». № 4897975/15 ; zayavl. 29.12.1990 ; opubl. 30.09.1992, Byul. № 36.
9. Pat. 2369061 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK A01B 73/06. Protivoerozionnoe shirokozahvatnoe orudie / A. F. Rogachev, N. N. Skiter, A. M. Saldaev [i dr.] ; patentoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya «Vologradskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya». № 2008118957/12 ; zayavl. 13.05.2008 ; opubl. 10.10.2009, Byul. № 28. 10 s.

Сведения об авторах

Алексей Владимирович Русинов – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой техносферной безопасности и транспортно-технологических машин, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова», spin-код: 3273-9416.

Владимир Евгеньевич Липовский – аспирант кафедры техносферной безопасности и транспортно-технологических машин, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова».

Information about the authors

Aleksey V. Rusinov – Candidate of Technical Sciences, Docent, Head of the Department of Technosphere Safety and Transport and Technological Machines, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named alter N. I. Vavilov", spin-code: 3273-9416.

Vladimir E. Lipovskiy – postgraduate student of the Department of Technosphere Safety and Transport and Technological Machines, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named alter N. I. Vavilov".

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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