

Научная статья
УДК 631.31:631.459

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО АГРЕГАТА ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО ОБРАБОТКУ СО СНИЖЕНИЕМ ЭРОЗИИ ПОЧВЫ

Алексей Владимирович Русинов, Липовский Владимир Евгеньевич
ФГБОУ ВО Саратовский государственный университет генетики,
биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова, г.Саратов, Россия

Аннотация. Главной задачей сельскохозяйственного производства является сохранность плодородия почвы и получения стабильно высоких урожаев. В климатических условиях Саратовской области особое внимание уделяется обработке почвы на полях, имеющих уклоны обеспечивая снижение поверхностного стока, что способствует снижению эрозии почвы, повышению влагозапаса и урожая. Для выполнения обработки почвы нами предлагается 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 расчеты конструктивно-технологических параметров предлагаемого почвообрабатывающего агрегата, позволяющие определить их величину с учетом ширины захвата. Установлено, что при достижении максимальной величины амплитуды водозадерживающей борозды $A_b=0,1$ 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 находится в диапазоне от 2,5 м до 10,02 м. На величину периода синусоидального характера водозадерживающей борозды оказывает влияние скорость движения трактора и ее увеличение с 6 км/ч до 12 км/ч приводит к увеличению периода с 0,01 м до 0,104 м.

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

Для цитирования: Русинов А.В., Липовский В.Е. Теоретические основы создания почвообрабатывающего агрегата обеспечивающего обработку со снижением эрозии почвы // Вестник Брянской ГСХА. 2026. № 2 (114). С. 55-60.

Original article

THEORETICAL FOUNDATIONS FOR CREATING A SOIL TILLAGE UNIT ENSURING TILLAGE WITH REDUCED SOIL EROSION

Alexey V. Rusinov, Vladimir Ye. Lipovsky

*Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov,
Saratov, Russia*

Abstract. The main objective of agricultural production is to preserve soil fertility and achieve consistently high yields. In the climatic conditions of the Saratov region, special attention is paid to soil cultivation in fields with slopes, which helps to reduce surface runoff and soil erosion, thereby increasing moisture reserves and crop yields. To achieve this, we propose a new design for a soil-cultivating unit that allows for the creation of sinusoidal water-retaining furrows. The article presents a description of the design of a new tillage unit and defines analytical dependencies that allow for the determination of its main design and technological parameters. The article also performs calculations of the design and technological parameters of the proposed tillage unit, which allow for the determination of their values, taking into account the width of the unit. It has been established that when the maximum amplitude of the water-retaining furrow reaches $A_b=0.1$ m and the width of the soil-processing unit increases from 5 m to 20 m, it is necessary to increase the distance from the pivot circle attachment point to the articulated attachment point of the working body on the frame of the soil-processing unit in the range from 0.12 m to 0.61 m, depending on the amount of offset of the traction attachment point on the pivot circle relative to its center of rotation. In this case, the length of the tracts will be in the range from 2.5 m to 10.02 m. The period of the sinusoidal nature of the water-retaining furrow is affected by the tractor's speed, and an increase in speed from 6 km/h to 12 km/h leads to an increase in the period from 0.01 m to 0.104 m.

Keywords: *sinusoidal water-retaining furrow, harrow, soil erosion, and tillage unit.*

For citation: *Rusinov A.V., Lipovsky V.Ye. Theoretical foundations for creating a soil tillage unit ensuring tillage with reduced soil erosion // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2026. No. 2 (114). P. 55-60.*

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]. Помимо потерь плодородного слоя почвы и гумуса, так же происходит снижение влаги в почве, что вызывает ее 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 поперек склона, глубокое рыхление, мульчирование и другие способы обработки почвы с применением новых почвообрабатывающих агрегатов [3, 4]. 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 обеспечивающей снижению эрозии почвы и накопления влаги в ней является обработка почвы с формированием криволинейных водозадерживающих борозд [5]. Но создание почвообрабатывающих агрегатов, обеспечивающих нарезание криволинейных водозадерживающих борозд в процессе обработки почвы требует детального рассмотрения конструкции и обоснования ее параметров.

В связи с вышеизложенной 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. Проводя анализ существующих конструкций почвообрабатывающих агрегатов обеспечивающих обработку почвы с формированием водозадерживающих борозд [6, 7, 8] 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 обеспечивая формирования криволинейной водозадерживающей борозды на поверхности поля.

С целью устранения вышеизложенных недостатков нами предлагается новая конструкция почвообрабатывающего агрегата обеспечивающего формированию на поверхности поля криволинейной водозадерживающей борозды в процессе обработки почвы. Предлагаемый агрегат, рис. 1а, состоит из рамы 1 с прицепным устройством 2 и ходовыми колесами 3, боковыми брусками 4 с рабочими органами 5. На концах боковых брусков 4 с помощью шарниров крепится опорная каретка 6 с установленными на ней опорными колесами 7 так же имеющих шарнирное крепление с возможностью поворачиваться по направлению движения почвообрабатывающего агрегата. На опорной каретке 6 шарнирно крепится телескопическая или гибкая тяга 8, другой конец тяги закреплен на поворотном круге 9 в одном из трех 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. Так же предусмотрено в раме 1 выполнение трех отверстий 12 выполненных равноудаленно относительно центрального отверстия и необходимых 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 , рис. 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 закрепленные на нем тяги 8 начинают изменять свое положение относительно рамы почвообрабатывающего агрегата в противофазе и тем самым изменять 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 выполнять нарезание на поверхности поля водозадерживающую борозду синусоидального характера с оптимальными параметрами амплитуды и периода.

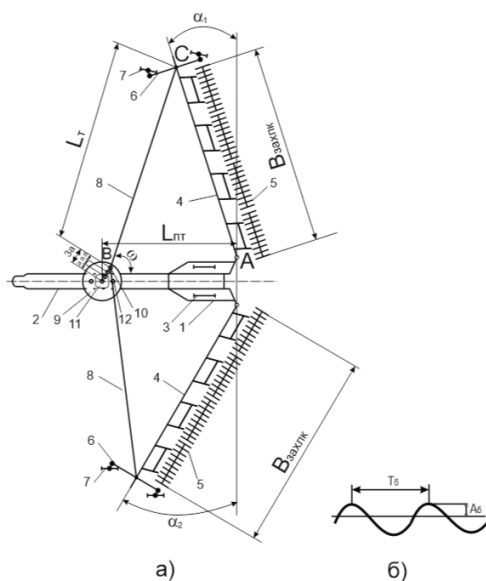


Рисунок 1 – Почвообрабатывающий агрегат обеспечивающий формирование на поверхности поля криволинейной водозадерживающей борозды в процессе обработки почвы:

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

Установлено, что на величину амплитуды водозадерживающей борозды оказывает влияние геометрические параметры почвообрабатывающего агрегата, а в частности длина продольных тяг L_m , 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_{nm} .

Для определения оптимальных геометрических параметров рабочего органа, обеспечивающего нарезание водозадерживающей борозды амплитудой A_δ , рассмотрим треугольник ABC стороны которого являются основными конструктивными элементами предлагаемого рабочего органа. Тогда амплитуда борозды равна нулю $A_\delta=0$ 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 $3a$.

Исследованиями установлено, что оптимальная величина амплитуды водозадерживающей борозды составляет в зависимости от уклона поверхности поля $A_\delta=8-10$ см [9]. Это достигается путем поворота рабочего органа в точке А против направлении движения на угол α_1 который можно определить из условия

$$\cos \alpha_1 = \frac{B_{захлк} - A_\delta}{B_{захлк}}, \tag{1}$$

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

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

$$\cos \alpha_3 = \frac{6a}{L_{nm}}, \tag{2}$$

где a – величина смещения крепления тяги на поворотном круге относительно центра его вращения, м; L_{nm} – 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 $A_{\delta}=\max$ происходит при максимальной величине угла α_3 , тогда зависимость, позволяющая обеспечить взаимосвязь параметров, a и L_{nm} с учетом ширины захвата рабочего органа выглядит как

$$L_{nm} = \frac{6a}{1 - \frac{A_{\delta}}{B_{захк}}} \quad (3)$$

Сделав допущение, что рассматриваемый ΔABC является прямоугольным, тогда зная величину L_{nm} , можно определить оптимальную величину длины тяг L_m с учетом ширины захвата рабочего органа

$$L_m = \sqrt{B_{захк}^2 + \left(\frac{6a}{1 - \frac{A_{\delta}}{B_{захк}}}\right)^2} \quad (4)$$

По представленным зависимостям можно определить оптимальные конструктивные параметры рабочего органа, обеспечивающего нарезание водозадерживающей борозды амплитудой A_{δ} . Вторым параметром водозадерживающей борозды является ее период T_{δ} , 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, тогда связь между конструктивно-технологическими параметрами почвообрабатывающего агрегата обеспечивающего нарезание водозадерживающей борозды с период T_{δ} определяется как

$$T_{\delta} = \frac{v_p \pi}{10}, \quad (5)$$

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 расчеты представленные ниже.

Результаты и обсуждение. Аналитические расчеты 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 данных 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 $A_{\delta}=0,1$ 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, рис. 2.

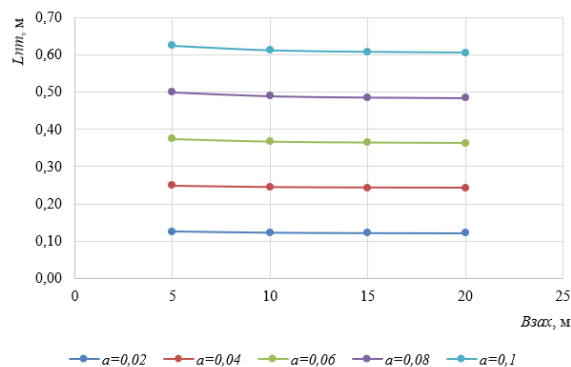


Рисунок 2 – Влияние ширины захвата почвообрабатывающего агрегата ($B_{захк}$, м) на расстояние от места крепления поворотного круга до места шарнирного крепления рабочего органа на раме почвообрабатывающего агрегата (L_{nm} , м)

Аналогичная ситуация прослеживается и с величиной длины тяг, обеспечивающих отклонение рабочего органа на угол α_1 , рис. 3. Расчеты 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 зависимости от величины смещения крепления тяги на поворотном круге относительно центра его вращения.

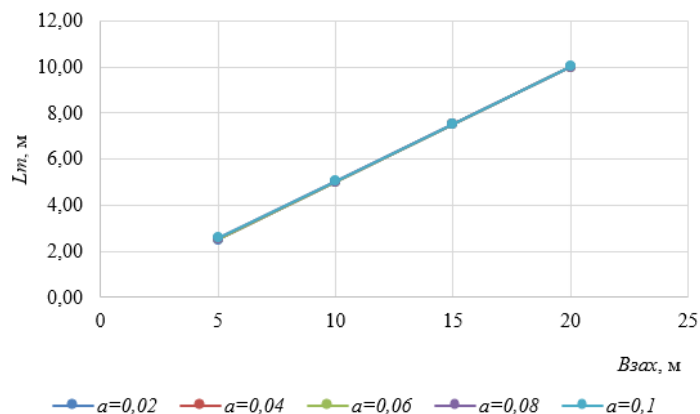


Рисунок 3 – Влияние ширины захвата почвообрабатывающего агрегата ($B_{зах}$, м) на длину тяг (L_m , м)

Рассматривая период 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, рис. 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 круга обеспечивает кратное увеличение периода синусоидального характера борозды.

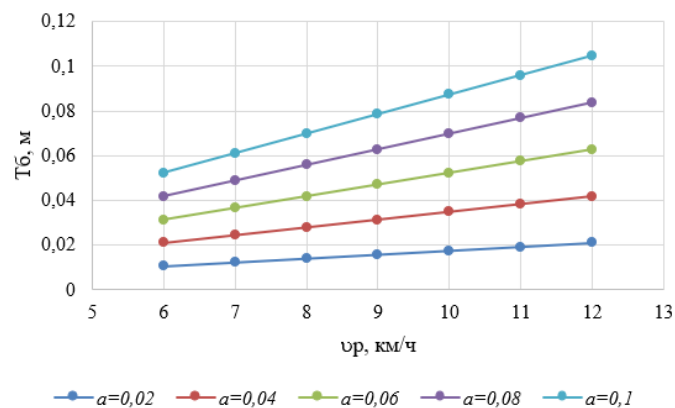


Рисунок 4 – Влияние скорости движения трактора (v_p , км/ч) на величину периода синусоидального характера водозадерживающей борозды (T_b , м)

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.

Заключение. Проведенный 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 позволит выполнять качественную обработку почвы с предотвращением образования эрозионных процессов, особенно на полях имеющих уклон, а так же обеспечивать повышение влагозапаса в почве, что позволит повысить урожай сельскохозяйственных культур.

Полученные аналитические зависимости позволяют определить конструктивно-технологические параметры новой конструкции почвообрабатывающего агрегата. Выполненные расчеты позволили определить оптимальные параметры предлагаемого почвообрабатывающего агрегата с учетом 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.
2. Догеев Г.Д., Халилов М.Б. Ресурсосберегающие влагонакопительные агроприемы и машины // Проблемы развития АПК региона. 2021. № 1 (45). С. 43-50.
3. Обоснование нового метода и технического средства борьбы с водной эрозией на склоновых почвах Центрального Кавказа / М.К. Аушев, М.М. Куриева, А.А. Плиева, С.И. Дзармотов // Проблемы развития АПК региона. 2021. № 2 (46). С. 11-17.
4. 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.
5. Рабочие органы для обработки почвы с водозадерживающим прерывистым бороздованием // Научная жизнь. 2019. Т. 14, № 3 (91). С. 337-347.
6. Модульное почвообрабатывающее орудие: пат. 2211552 С1 Рос. Федерация: МПК А01В 7/00, А01В 51/00 / Сметанкин С.А., Руднев Ю.И., Мазитов Н.К. и др.; заявитель и патентообладатель ГУП Завод "Сибсельмаш-Спецтехника". - № 2002104147/13; заявл. 14.02.2002; опубл. 10.09.2003.
7. Широкозахватное почвообрабатывающее орудие: а. с. 4897975 А1 СССР: МПК А01В 7/00, А01В 73/00 / В.Ф. Рясный, Ю.А. Гебель, С.А. Сметанкин; заявитель и патентообладатель производственное объединение "Сибсельмаш". - № 1764526; заявл. 29.12.1990; опубл. 30.09.1992.
8. противоэрозионное широкозахватное орудие: пат. 2369061 С1 Рос. Федерация: МПК А01В 73/06 / Рогачев А.Ф., Скитер Н.Н., Салдаев А.М. и др.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Волгоградская государственная сельскохозяйственная академия". - № 2008118957/12; заявл. 13.05.2008; опубл. 10.10.2009.
9. Рабочие органы для обработки почвы с водозадерживающим прерывистым бороздованием // Научная жизнь. 2019. Т. 14, № 3 (91). С. 337-347.

Информация об авторах:

А.В. Русинов - кандидат технических наук, доцент кафедры техносферная безопасность и транспортно-технологические машины, ФГБОУ ВО Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова. rusinovsar@yandex.ru.

В.Е. Липовский – соискатель, кафедра «Техносферная безопасность и транспортно-технологические машины», ФГБОУ ВО Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова.

Information about the authors:

A.V. Rusinov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technosphere Safety and Transport and Technological Machines, N.I. Vavilov Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering. rusinovsar@yandex.ru.

V.Ye. Lipovsky – Applicant of the Department of Technosphere Safety and Transport and Technological Machines, N.I. Vavilov Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering.

Все авторы внесли равный вклад в выполнение работы, подготовку рукописи и несут равную ответственность за представленные данные. Конфликт интересов отсутствует.

All authors contributed equally to the work, preparation of the manuscript, and bear equal responsibility for the presented data. There are no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 14.11.2025, одобрена после рецензирования 15.02.2026, принята к публикации 12.03.2026.

The article was submitted 14.11.2025, approved after reviewing 15.02.2026, accepted for publication 12.03.2026.

© Русинов А.В., Липовский В.Е.