

Влияние прикатывающего колеса катка-гребнеобразователя на плотность почвы в гребне

Е. С. Зыкин[✉], доктор технических наук, профессор кафедры «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

В. И. Курдюмов, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности»

С. П. Албутов, инженер

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432000, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1

[✉]evg-zykin@yandex.ru

Резюме. Работа посвящена изучению параметров почвенной среды и теоретическому обоснованию конструктивных параметров прикатывающего колеса, существенно влияющих на качество уплотнения почвы в гребне и формирование бороздки в верхней части гребня. Посредством критериальной оценки показателей качества гребневого посева выявлено, что пропашные культуры возделывают на постоянных и вновь образуемых гребнях почвы различного поперечного профиля, которые формируют как до, так и одновременно с посевом или после него, применяя окучники, щитки и диски, конические катки, многоярусные стрелчатые лапы или стрелчатые лапы с дополнительными приспособлениями. Однако в настоящее время отсутствуют серийные специальные технические средства, позволяющие одновременно с посевом формировать уплотненный гребень почвы над высевными семенами с М-образным поперечным профилем. Принимая во внимание не учтенные ранее параметры прототипа, необходимо теоретически обосновать конструктивные параметры нового прикатывающего колеса катка-гребнеобразователя, практическая реализация которых позволит не только повысить качество контакта высевных семян с влажной почвой с целью улучшения их прорастания и развития, но и сформировать в верхней части почвенного гребня бороздку для сбора дождевых осадков. Приведенные теоретические выкладки для определения плотности почвы в гребне после прохода катка-гребнеобразователя при угле атаки сферических дисков 0° , суммарном весе прикатывающего колеса и дополнительной вертикальной нагрузки на него 150...250 Н, скорости движения катка в пределах 6...8 км/ч, углах $\vartheta = 18...25^\circ$ и $\alpha = 35^\circ$ позволили установить, что плотность почвы в гребне варьируется в пределах 1065...1220 кг/м³, что полностью соответствует агротехническим требованиям.

Ключевые слова: технология, почва, прикатывание, посев, пропашные культуры, каток, сеялка

Для цитирования: Зыкин Е. С., Курдюмов В. И., Албутов С. П. Влияние прикатывающего колеса катка-гребнеобразователя на плотность почвы в гребне // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. №3 (71). С. 206-211. doi:10.18286/1816-4501-2025-3-206-211

The influence of the press wheel of the ridge former roller on soil density in the ridge

E. S. Zykin[✉], **V. I. Kurdyumov**, **S. P. Albutov**

FSBEI HE Ulyanovsk State Agricultural University

432000, Ulyanovsk, Novy Venets Boulevard, 1

[✉]evg-zykin@yandex.ru

Abstract. The work is devoted to the study of the parameters of the soil environment and theoretical justification of the design parameters of the press wheel, which significantly affect the quality of soil compaction in the ridge and formation of a furrow in the upper part of the ridge. By means of criterial assessment of quality parameters of ridge sowing it was revealed that row crops are cultivated on permanent and newly formed soil ridges of different cross-section, which are formed both before and simultaneously with sowing or after it, using hillers, shields and disks, conical rollers, multi-tiered arrow-shaped paws or arrow-shaped paws with additional devices. However, at present there are no serial special technical means allowing to form a compacted soil ridge over the sown seeds with an M-shaped cross-section simultaneously with sowing. Taking into account the previously unaccounted parameters of the prototype, it is necessary to theoretically substantiate the design parameters of the new rolling wheel of the ridge former roller, the practical implementation of which will allow not only to improve the quality of contact of the sown seeds with moist soil in order to improve their germination and development, but also to form a furrow in the upper part of the soil ridge for collecting rainfall. The presented theoretical calculations for determining soil density in the ridge after the passage of the ridge former roller at an angle of attack of 0° of the spherical disks, the total weight of the

pressing wheel and the additional vertical load on it of 150...250 N, the speed of the roller within 6...8 km/h, angles $\theta = 18...25^\circ$ and $\alpha = 35^\circ$ enabled to establish that the soil density in the ridge varies within 1065...1220 kg/m³, which fully complies with agrotechnical requirements.

Keywords: technology, soil, rolling, sowing, row crops, roller, seeder.

For citation: Zykin E. S., Kurdyumov V. I., Albutov S. P. The influence of the press wheel of the ridge former roller on soil density in the ridge // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025;3(71): 206-211 doi:10.18286/1816-4501-2025-3-206-211

Введение

Начальный этап посева сельскохозяйственных культур, как правило, связан с предпосевной культивацией почвы на глубину, соответствующую глубине заделки семян в почву [1, 2, 3]. Этой операцией также обеспечивается не только уничтожение сорняков перед посевом, но и формирование уплотненного ложа для расположения на нем высеванных семян. Прикатыванием почвы над высеванными семенами обеспечивают не только качественный контакт семян с почвой, но и подтягивание почвенной влаги из нижних слоев к семенному ложу [4, 5, 6].

В зависимости от реализуемой технологии пропашные культуры возделывают на постоянных гребнях почвы и на вновь формируемых, причем почвенные гребни различного поперечного профиля создают как до, так и одновременно с посевом или после посева [7, 8, 9].

Образование постоянных и новых гребней почвы до и после посева, в основном, осуществляют окучниками, щитками и дисками, коническими катками, многорусными стрельчатыми лапами или стрельчатыми лапами с дополнительными приспособлениями [10, 11, 12].

В настоящее время отсутствуют серийно выпускаемые специальные технические средства, позволяющие одновременно с посевом формировать уплотненный гребень почвы над высеванными семенами М-образного поперечного профиля. Ранее проведенные исследования показали, что при образовании такого профиля урожайность растений выше, чем урожайность растений, при высева семян которых образуют трапециевидный профиль гребня. Следовательно, необходимо теоретически обосновать параметры разработанного орудия, которое обеспечит качественный посев пропашных культур с образованием М-образного профиля гребня почвы.

Цель исследования – изучение и теоретическое обоснование конструктивных параметров разработанного катка-гребнеобразователя с учетом физико-механических свойств почвы, непосредственно влияющих на процесс уплотнения почвы в гребне.

Материалы и методы

Качественный гребневой посев пропашных культур возможно достичь реализацией разработанного и запатентованного способа и технических средств, разработанных на кафедре «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности» ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ, новизна которых подтверждена патентами Российской Федерации на № 2762407 и № 204225 [13, 14].

Гребневой посев пропашных культур включает одновременное выполнение рыхления почвы стрельчатыми лапами на глубину заделки семян, подрезание сорняков и формирование уплотненного ложа, равномерное размещение семян рядами на уплотненное ложе и присыпание их рыхлой почвой из междурядий плоскими вращающимися дисками с образованием над семенами неуплотненного гребня почвы, а также последующее трехстороннее воздействие на неуплотненный гребень почвы сферическими дисками и прикатывающим колесом катка-гребнеобразователя. Сферические диски размещают по обе боковые стороны от гребня под углом атаки к прямолинейному движению катка-гребнеобразователя, а прикатывающее колесо располагают над верхним основанием гребня. Для регулирования воздействия прикатывающего колеса на почву в гребне раму катка подпружинили относительно несущего Г-образного кронштейна (рис. 1). Степень сжатия пружины и, соответственно, усилие нажима прикатывающего колеса на почву в верхней части гребня обеспечивают перемещением регулировочной гайки по штанге катка-гребнеобразователя.

Результаты

Анализ теоретических аспектов процесса прикатывания почвы катками различных конструкций позволил заключить, что главным фактором качественного уплотнения почвы является давление катка на почву [15, 16, 17]. Причем давление необходимо рассматривать с учетом тягового сопротивления катка в процессе его перемещения (рис. 2).

Таким образом, геометрическое сложение веса и тягового сопротивления прикатывающего колеса позволяют определить результирующую силу R , H , которая существенно влияет на процесс уплотнения почвы в гребне [12, 18, 19]:

$$R = \sqrt{G^2 + T^2}, \quad (1)$$

где G – вес прикатывающего колеса с учетом дополнительной нагрузки, H ; T – тяговое сопротивление прикатывающего колеса, H .

В этом случае динамическое давление p , Па, прикатывающего колеса на почву верхнего основания гребня

$$p = \frac{\sqrt{G^2 + T^2}}{S}, \quad (2)$$

где S – площадь контакта прикатывающего колеса с почвой, м².

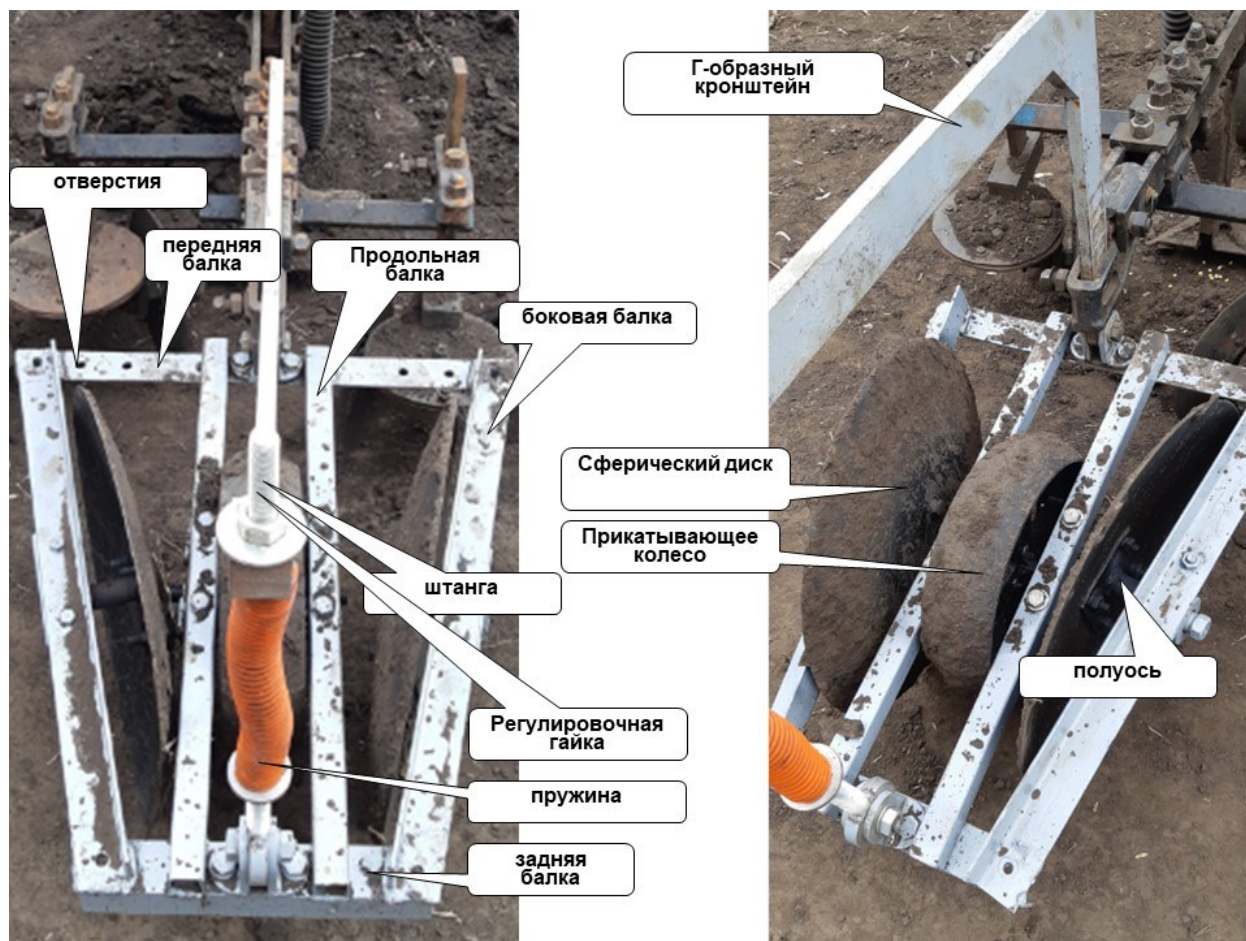


Рис. 1. Каток-гребнеобразователь

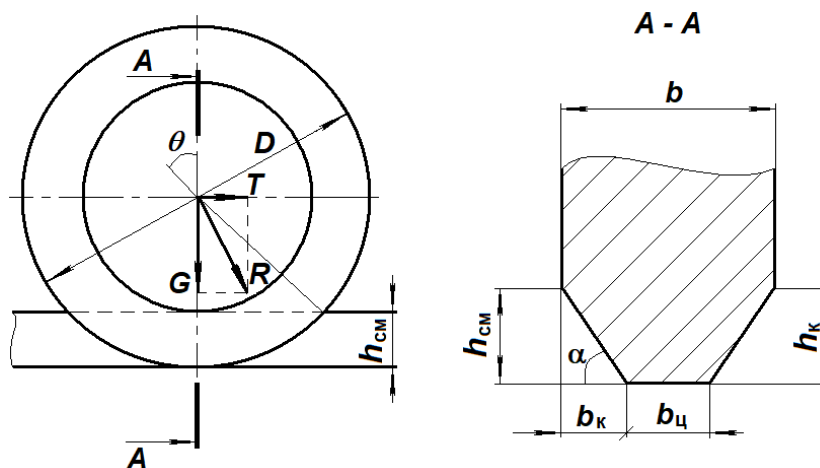


Рис. 2. К расчету давления прикатывающего колеса катка на гребень почвы

Известно, что «тяговое сопротивление прикатывающего колеса можно рассчитать по эмпирической формуле Грандвуане-Горячкина» [10, 12, 20]:

$$T = 0,86 \sqrt{\frac{G}{q b D^2}}, \quad (3)$$

где q – коэффициент объемного смятия почвы, Н/м³; b – ширина прикатывающего колеса, м; D – диаметр прикатывающего колеса, м.

Теоретическое уточнение конструктивных параметров прикатывающего колеса катка-гребнеобразователя (рис. 2) позволило выявить, что

$$b = b_{\text{ц}} + \frac{2h_k}{\text{tg}\alpha}, \quad (4)$$

где $b_{\text{ц}}$ – ширина цилиндрической части прикатывающего колеса, м; h_k – высота конической части прикатывающего колеса, м; α – угол между поверхностью почвы и боковой конической частью прикатывающего колеса, град.

В нашем случае основное давление на гребень почвы прикатывающего колеса осуществляется его конической и цилиндрической частями на глубину $h_{см}$, м. Если числовое значение $h_{см}$ больше высоты конической части прикатывающего колеса h_k , то в расчетах принимаем, что $h_{см} = h_k$, так как боковые параллельные стороны прикатывающего колеса вертикального давления на почву верхнего основания гребня не оказывают.

В этом случае площадь, m^2 контактирующих поверхностей прикатывающего колеса с почвой верхнего основания гребня

$$S = \frac{S_o \theta}{360}, \quad (5)$$

где S_o – площадь поверхности обода прикатывающего колеса, m^2 ; θ – угол контакта прикатывающего колеса с почвой, град.

Согласно требованиям к разработке почвообрабатывающих катков для обеспечения перемещения катка по поверхности почвы угол θ не должен превышать 45 град. [8, 9, 12]. В этом случае будет отсутствовать сгруживание почвы перед катком, а комки почвы будут защемляться между поверхностями поля и катка и раздавливаться или вминаться в почву. Если угол θ будет превышать 45 град., то вращение катка по поверхности поля прекратится, а почва вместе с расположенными на ее поверхности комками станет сгруживаться перед катком.

Применительно к прикатывающему колесу катка площадь поверхности его обода

$$S_o = L_p b, \quad (6)$$

где $L_p = 2\pi r$ – длина развертки прикатывающего колеса, м; r – радиус прикатывающего колеса, м.

Совместно решив уравнения (5) и (6) при критическом угле контакта прикатывающего колеса $\theta = 45^\circ$ с почвой, выразим максимальную площадь его контакта с почвой:

$$S_{\max} = \frac{\pi r b \theta_{\max}}{180}. \quad (7)$$

Совместное решение уравнений (7), (4) и (3) с подстановкой полученного результата в уравнение (2) позволило определить минимальное давление, Па прикатывающего колеса на почву верхнего основания гребня:

$$p_{\min} = \frac{180 \sqrt{G^2 + 0,74 \left(\frac{G}{q \left(b_{ц} + \frac{2h_{см}}{tg\alpha} \right) D^2} \right)^{\frac{2}{3}}}}{\pi r (b_{ц} + 2h_{см}/tg\alpha) \theta_{\max}}. \quad (8)$$

При вертикальном воздействии прикатывающего колеса на почву гребня ее плотность ρ , $кг/м^3$ можно определить по эмпирической формуле [12]:

$$\rho = \frac{U_n}{K_n + 1}, \quad (9)$$

где U_n – плотность твердой фазы почвы на глубине 0...0,2 м, $кг/м^3$; K_n – коэффициент пористости.

Коэффициент пористости [12]

$$K_n = K_0 - \frac{1}{N_n} \ln \frac{p_{K_{\min}}}{9,8 \cdot 10^4}, \quad (10)$$

где K_0 – коэффициент пористости при нагрузке $9,8 \cdot 10^4$ Па; $N_n = 5...10$ – степень изменения коэффициента пористости при нагрузке.

Совместное решение уравнений (8) и (10) с подстановкой полученного результата в уравнение (9) позволяет определить плотность почвы в гребне от вертикального действия на него прикатывающего колеса:

$$\rho = \frac{U_n N_n}{N_n (1 + K_0) - \ln \sqrt{\frac{G^2 + 0,74 \left(\frac{G}{q \left(b_{ц} + \frac{2h_{см}}{tg\alpha} \right) D^2} \right)^{\frac{2}{3}}}}{580 r (b_{ц} + 2h_{см}/tg\alpha) \theta_{\max}}}. \quad (11)$$

Обсуждение

Проведенные ранее учеными многочисленные исследования [6, 12, 19] финишного формирования почвенного гребня над высевными семенами пропашных культур показали, что разработанные ранее катки не позволяют сформировать почвенный гребень М-образного профиля. Кроме того, из-за наличия нескольких прикатывающих колец у катков известных конструкций отсутствует возможность корректно регулировать степень уплотняющего воздействия этих элементов на центральную часть почвенного гребня над линией расположения семян.

Теоретически оптимизированные конструктивные параметры нового прикатывающего колеса катка-гребнеобразователя позволяют не только повысить качество контакта высевных семян с влажной почвой с целью их улучшения прорастания и развития, но и сформировать в верхней части почвенного гребня бороздку для сбора дождевых осадков.

Определенные при теоретических исследованиях параметры катка-гребнеобразователя были проверены в процессе его полевых исследований. В результате было выявлено, что при угле атаки сферических дисков 0° , суммарном весе прикатывающего колеса и дополнительной вертикальной нагрузки на него 150...250 Н, скорости движения катка в пределах 6...8 км/ч, углах $\vartheta = 18...25^\circ$ и $\alpha = 35^\circ$ после прохода катка-гребнеобразователя плотность почвы в гребне изменялась в пределах 1065...1220 $кг/м^3$. Это полностью соответствует агротехническим требованиям к прикатыванию почвы при посеве пропашных культур.

Заключение

Эвристический и технический анализы обоснованных параметров прикатывающего колеса катка-гребнеобразователя позволили установить, что при

известных параметрах (вес прикатывающего колеса, его диаметр, углы ϑ и α) можно достоверно определить минимальное давление прикатывающего колеса на почву в верхней части гребня. Рассчитанная плотность почвы в гребне после прохода прикатывающего колеса зависит не только от его геометрических размеров, но и от физико-механических свойств почвы.

Приведенные теоретические выкладки для определения плотности почвы в гребне после прохода катка-гребнеобразователя при угле атаки сферических дисков 0° , суммарном весе прикатывающего колеса и дополнительной вертикальной нагрузки на него 150...250 Н, скорости движения катка в пределах 6...8 км/ч, углах $\vartheta = 18...25^\circ$ и $\alpha = 35^\circ$ позволили установить, что плотность почвы в гребне варьируется в пределах 1065...1220 кг/м³.

Литература

1. Милюткин В. А., Буксман В. Э. The highly efficient unit for in-soil fertilizer application xtender with cultivator Cenius – TX (Amazonen-Werke, JSC «Evrotekhnika») technology No-Till, Mini-Till and the Crest-Ridge // Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК: материалы XIV Международной научной конференции. Брянский государственный аграрный университет (Кокино). 2017. С. 488-493.
2. Bogus A. E., Kuzmenko A. D. Substantiation of the technological scheme of pneumatic grain seeder of subsurface dense sowing // E3S Web of Conferences. ICMTMTE. 2019. Vol. 126. P. 00040. doi:10.1051/e3sconf/201912600040.
3. Блочно-модульный агрегат для возделывания пропашных культур / А. В. Балашов, А. Н. Омаров, Ж. Ж. Зайнушев и др. // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2015. № 2. С. 163-170.
4. Набиев Т. С. Повышение качества сева и междурядной обработки пропашных культур // Успехи современного естествознания. 2010. № 9. С. 192-193.
5. Babitskiy L., Moskalevich V., Belov A. Results of research of working bodies with increased reliability of tillage and sowing machines // E3S Web of Conferences. ICMTMTE, 2020. Vol. 193. P. 01042. doi:10.1051/e3sconf/202019301042
6. Некоторые вопросы о теплообеспеченности в системе «почва – растение – воздух» / И. И. Максимов А. Р. Валиев, Е. П. Алексеев и др. // Вестник Казанского ГАУ. 2024. № 4 (76). С. 81-87. doi:10.12737/2073-0462-2024-81-87.
7. Theoretical substantiation of ridger-seeder roll draught / A. K. Subaeva, A. A. Zamaidinov, V. I. Kurdyumov and others // Journal of Fundamental and Applied Sciences. Appl. Sci., 2017. No. 9 (1S). P. 1945-1955
8. Результаты сравнительных испытаний блочно-модульных культиваторов / Н. К. Мазитов, Л. З. Шарафиев, Р. Л. Сахапов и др. // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 3. С. 54-56.
9. Современные технологии и специальная техника для картофелеводства / А. Ю. Измайлов, Н. Н. Колчин, Я. П. Лобачевский и др. // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. № 3. С. 43-47.
10. Design and study of seeding devices for small selection seeding machines / V. Nemtinov, N. Kryuchin, A. Kryuchin and others // E3S Web of Conferences. ICMTMTE. 2019. Vol. 126. No. 00008. doi: 10.1051/e3sconf/201912600008.
11. Актуальные проблемы и приоритетные направления развития картофелеводства / А. В. Коршунов, Е. А. Симаков, Ю. Н. Лысенко и др. // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 3. С. 12-20. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10303
12. Курдюмов В. И., Зыкин Е. С. Технология и средства механизации гребневого возделывания пропашных культур: монография. Ульяновск: Вега-МЦ, 2017. 320 с.
13. Патент 2762407 Российская Федерация, МПК A01C7/04, A01B13/02, A01C21/00. Способ гребневого посева пропашных культур / В.И. Курдюмов, Е.С. Зыкин, С.А. Лазуткина, С.П. Албутов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. № 2021102018; заявл. 28.01.2021; опубл. 21.12.2021, Бюл. № 36.
14. Патент 204225 Российская Федерация, МПК A01B29/04. Каток-гребнеобразователь / В. И. Курдюмов, Е. С. Зыкин, С. П. Албутов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. № 2021100913; заявл. 18.01.2021; опубл. 17.05.2021, Бюл. № 14.
15. Обзор рабочих органов пропашных культиваторов и разработка новых в концепции экологического земледелия / А. И. Филиппов, Э. В. Заяц, С. В. Стуканов и др. // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 4. С. 121-126.
16. Strekalov S., Strekalova L. Designing soil tillage devices for the spiral land cultivation system // E3S Web of Conferences. ICMTMTE, 2019. Vol. 126. P. 00018. doi:10.1051/e3sconf/201912600018
17. Мазур В.В. Оценка эффективности применения комбинаций рабочих органов культиватора для возделывания кукурузы // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 4. С. 37-41. doi: 10.26897/2687-1149-2022-4-37-41.
18. Использование цифровых технологий в растениеводстве для хранения и анализа данных истории полей / Н.В. Степных, Е.В. Нестерова, А.М. Заргарян и др. // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 3. С. 97–102. doi: 10.53859/02352451_2022_36_3_97
19. Belousov S.V., Samurganov E.E. On the problem of interaction of the tillage working body with the soil // E3S Web of Conferences. ICMTMTE. 2020. Vol. 193. P. 01062. doi:10.1051/e3sconf/202019301062

20. Совершенствование методики проектирования почвозащитных технологий на склоновых агроландшафтах / С. И. Чучкалов, В. В. Алексеев, И. И. Максимов и др. // Вестник Казанского ГАУ. 2023. № 3 (71). С. 111-116. doi: 10.12737/2073-0462-2023-111-116

References

1. Milyutkin V. A., Buksman V. E. The highly efficient unit for in-soil fertilizer application xtender with cultivator Cenius – TX (Amazonen-Werke, JSC «Evrotekhnik») technology No-Till, Mini-Till and the Crest-Ridge // Agroecological aspects of sustainable development of the agro-industrial complex: Proceedings of the XIV International Scientific Conference. Bryansk State Agrarian University (Kokino). 2017. P. 488-493.
2. Bogus A. E., Kuzmenko A. D. Substantiation of the technological scheme of pneumatic grain seeder of subsurface dense sowing // E3S Web of Conferences. ICMTMTE. 2019. Vol. 126. P. 00040. doi:10.1051/e3sconf/201912600040
3. Block-modular unit for cultivating row crops / A. V. Balashov, A. N. Omarov, Zh. Zh. Zainushev et al. // Vestnik of Michurinsk State Agrarian University. 2015. No. 2. P. 163-170.
4. Nabiev T. S. Improvement of the quality of sowing and inter-row cultivation of row crops // Advances in modern natural science. 2010. No. 9. P. 192-193.
5. Babitskiy L., Moskalevich V., Belov A. Results of research of working bodies with increased reliability of tillage and sowing machines // E3S Web of Conferences. ICMTMTE, 2020. Vol. 193. P. 01042. doi:10.1051/e3sconf/202019301042
6. Some issues on heat supply in the soil-plant-air system / I. I. Maksimov, A. R. Valiev, E. P. Alekseev, et al. // Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2024. No. 4 (76). P. 81-87. doi:10.12737/2073-0462-2024-81-87
7. Theoretical substantiation of ridger-seeder roll draught / A. K. Subaeva, A. A. Zamaidinov, V. I. Kurdyumov, et al. // Journal of Fundamental and Applied Sciences. Appl. Sci., 2017. No. 9 (15). P. 1945-1955
8. Results of comparative tests of block-modular cultivators / N. K. Mazitov, L. Z. Sharafiev, R. L. Sakhapov, et al. // Tractors and agricultural machinery. 2013. No. 3. P. 54-56.
9. Modern technologies and special equipment for potato cultivation / A. Yu. Izmailov, N. N. Kolchin, Ya. P. Lobachevsky, et al. // Agricultural machinery and technologies. 2015. No. 3. P. 43-47.
10. Design and study of seeding devices for small selection seeding machines / V. Nemtinov, N. Kryuchin, A. Kryuchin, et al. // E3S Web of Conferences. ICMTMTE. 2019. Vol. 126. No. 00008. doi: 10.1051/e3sconf/201912600008
11. Current problems and priority directions of development of potato cultivation / A. V. Korshunov, E. A. Simakov, Yu. N. Lysenko, et al. // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2018. Vol. 32. No. 3. P. 12-20. doi: 10.24411/0235-2451-2018-10303
12. Kurdyumov V. I., Zykin E. S. Technology and means of mechanization of ridge cultivation of row crops: monograph. Ulyanovsk: Vega-MC, 2017. 320 p.
13. Patent 2762407 Russian Federation, IPC A01C7/04, A01B13/02, A01C21/00. Method of ridge sowing of row crops / V. I. Kurdyumov, E. S. Zykin, S. A. Lazutkina, S. P. Albutov; applicant and patent holder FSBEI HE Ulyanovsk State Agrarian University. No. 2021102018; appl. 28.01.2021; published 21.12.2021, Bull. No. 36.
14. Patent 204225 Russian Federation, IPC A01B29/04. Ridge former roller / V. I. Kurdyumov, E. S. Zykin, S. P. Albutov; applicant and patent holder FSBEI HE Ulyanovsk State Agrarian University. No. 2021100913; appl. 18.01.2021; published 17.05.2021, Bull. No. 14.
15. Review of working bodies of row-crop cultivators and development of new ones in the concept of ecological farming / A. I. Filippov, E. V. Zayats, S. V. Stukanov, et al. // Vestnik of the Belarusian State Agricultural Academy. 2020. No. 4. P. 121-126.
16. Strekalov S., Strekalova L. Designing soil tillage devices for the spiral land cultivation system // E3S Web of Conferences. ICMTMTE, 2019. Vol. 126. P. 00018. doi:10.1051/e3sconf/201912600018
17. Mazur V. V. Evaluation of the efficiency of using combinations of cultivator working bodies for corn cultivation // Agroengineering. 2022. Vol. 24. No. 4. P. 37-41. doi: 10.26897/2687-1149-2022-4-37-41.
18. Usage of digital technologies in crop production for storing and analyzing field history data / N. V. Stepnykh, E. V. Nesterova, A. M. Zargaryan, et al. // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. 2022. Vol. 36. No. 3. P. 97–102. doi: 10.53859/02352451_2022_36_3_97
19. Belousov S. V., Samurganov E. E. On the problem of interaction of the tillage working body with the soil // E3S Web of Conferences. ICMTMTE. 2020. Vol. 193. P. 01062. doi:10.1051/e3sconf/202019301062
20. Improvement of the methodology for designing soil conservation technologies on slope agricultural landscapes / S.I. Chuchkalov, V.V. Alekseev, I.I. Maksimov et al. // Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2023. No. 3 (71). P. 111-116. doi: 10.12737/2073-0462-2023-111-116