

### Обоснование угла атаки многогранного диска пропашного культиватора при второй междурядной обработке

**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»

**А. Н. Кривоногов**, соискатель

ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432000, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1

✉evg-zykin@yandex.ru

**Резюме.** Работа посвящена изучению и теоретическому обоснованию угла атаки многогранного диска рабочего органа пропашного культиватора, используемого на второй и последующей междурядных обработках, с учетом размеров гребня почвы в защитной зоне, сформированного при первой междурядной обработке. Всестороннее изучение известных технических средств, предполагающих многократные воздействия их рабочих органов на почву в междурядьях и последствие химических средств защиты растений позволило установить, что на первых двух междурядных обработках защитные зоны рядков культурных растений остаются необработанными. В этих зонах увеличивается твердость и плотность почвы, в них активно вегетируют сорняки. Эффективность уничтожения вегетирующих с культурными растениями сорняков при локальном или сплошном внесении гербицидов избирательного действия достигает 80 %. Однако даже после однократного применения гербицидов урожайность культурных растений уменьшается до 15 % за счет их угнетения используемыми химическими средствами борьбы с сорняками. Оценка дальности отбрасывания почвы рабочими органами культиваторов из междурядий в защитные зоны рядков растений позволила выявить ранее не обоснованные параметры, оказывающие существенное влияние на показатели качества технологического процесса. К ним, в частности, относятся размеры и углы атаки применяемых дополнительных сдвигающих рабочих органов. Выполненное теоретическое обоснование и экспериментальное подтверждение обоснованных размеров многогранного диска и угла его атаки позволили установить, что для формирования толщины слоя почвы 0,05...0,06 м на боковых сторонах и верхнем основании первичного гребня почвы необходимо применять многогранный диск с диаметром вписанной окружности 0,35 м, обеспечить скорость его перемещения в интервале от 1,6 м/с до 2 м/с, а сам диск установить под углом атаки 20° к направлению движения агрегата.

**Ключевые слова:** гребень почвы, пропашной культиватор, возделывание, механизированный уход, пропашные культуры, уход, посевы, междурядная обработка

**Для цитирования:** Зыкин Е. С., Курдюмов В. И., Кривоногов А. Н. Обоснование угла атаки многогранного диска пропашного культиватора при второй междурядной обработке // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2026. № 2 (74). С. 182-187. doi:10.18286/1816-4501-2026-2-182-187

### Justification of the angle of attack of a multi-sided disc of a row-crop cultivator during second inter-row cultivation

**E. S. Zykin**✉, **V. I. Kurdyumov**, **A. N. Krivonogov**

FSBEI HE Ulyanovsk State Agrarian University

432000, Ulyanovsk, Novyi Venets Boulevard, 1

✉evg-zykin@yandex.ru

**Abstract.** This paper examines and theoretically justifies the angle of attack of a multi-sided disc of a row-crop cultivator used during second and subsequent inter-row cultivations, taking into account the size of the soil ridge in the protective zone formed during the first inter-row cultivation. A comprehensive study of the existing technical methods involving multiple impacts of their working parts on the soil between rows and the aftereffects of chemical plant protection products revealed that during the first two inter-row cultivations, the protective zones of crop rows remain untreated. In these zones, soil hardness and density increase, and weeds actively grow there. The effectiveness of killing weeds growing alongside crops with localized or blanket application of selective herbicides reaches 80%. However, even after a single herbicide application, crop yields decrease by up to 15% due to suppression by the chemical weed control agents used. An assessment of the distance that cultivator tools throw soil from row spacing into the protective zones of plant rows revealed previously unexplained parameters that significantly impact the quality of the technological process. These include, in particular, the size and angle of attack of the additional shearing tools used. The theoretical justification and experimental confirmation of the substantiated dimensions of the polyhedral disk and its angle of attack revealed that, to form a soil layer thickness of 0.05–0.06 m on the sides and upper base of the primary soil ridge, it is necessary to use a polyhedral disk

with an inscribed circle diameter of 0.35 m, ensure its movement speed in the range of 1.6 m/s to 2 m/s, and set the disk at an angle of attack of 20° to the direction of the unit movement.

**Keywords:** soil ridge, row-crop cultivator, cultivation, mechanized tillage, row crops, tillage, sowing, inter-row cultivation

**For citation:** Zykin E. S., Kurdyumov V. I., Krivonogov A. N. Justification of the angle of attack of a multi-sided disc of a row-crop cultivator during second inter-row cultivation // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2026.2 (74): 182-187 doi:10.18286/1816-4501-2026-2-182-187

### Введение

Агротехнические требования к уходу за посевами сельскохозяйственных культур предусматривают уничтожение сорняков как механизированным способом, так и с помощью химических средств [1, 2, 3].

Механизированный уход, как правило, предусматривает двухкратную обработку междурядий культиваторами, оснащенными лапами-бритвами и (или) стрельчатыми лапами, а также однократную обработку с применением окучников [3, 4, 5]. Предварительная подготовка культиватора к обработке междурядий предусматривает, в зависимости от вида обрабатываемой культуры и номера обработки, обеспечение минимального расстояния между защитной зоной рядков растений и краями лезвий рабочих органов культиватора. С увеличением номера междурядной обработки ширину защитной зоны рядков также увеличивают для исключения повреждения корневой системы культурных растений. Таким образом, увеличивается не только площадь необработанной почвы защитных зон, в которых активно вегетируют сорняки, но также твердость и плотность почвы в этих зонах [6, 7, 8]. В процессе окучивания почву рыхлят и одновременно смещают ее из междурядий в защитные зоны рядков – в корневую зону возделываемых культур, присыпая сорняки с целью подавления их развития [9, 10, 11]. Недостаток применения окучников – невозможность регулирования дальности и объема смещаемой почвы, в результате чего применение окучников оправдано только при достижении культурными растениями высоты не менее 0,2...0,3 м для исключения их травмирования [12].

Известно, что применение химических средств защиты позволяет минимизировать не только количество необработанных участков с сорняками, но и механическое повреждение культурных растений [13, 14, 15]. Такие химические средства защиты, как гербициды позволяют до 80 % уничтожить весеннюю волну сорняков, развивающихся одновременно с культурными растениями. Однако даже после однократного применения гербицидов урожайность культурных растений уменьшается до 15 % за счет их угнетения используемыми химическими средствами борьбы с сорняками [16, 17, 18].

Наиболее перспективным, по нашему мнению, является применение разработанного на кафедре «Агротехнологии, машины и безопасность жизнедеятельности» ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ и запатентованного рабочего органа пропашного культиватора, содержащего стрельчатую лапу и многогранный диск. Предлагаемый рабочий орган позволяет

достичь высоких показателей качества междурядной обработки и минимизировать количество поврежденных культурных растений. Использование такого рабочего органа позволяет не только обеспечить рыхление почвы и подрезание сорняков в междурядьях, но и сместить требуемый объем почвы в защитные зоны рядков на сорняки, тем самым подавить их всходы. Кроме того, такая обработка почвы обеспечивает увеличение урожайности культурных растений за счет улучшения условий для их вегетации и исключения применения химических средств. Новизна разработанного рабочего органа подтверждена патентами Российской Федерации на изобретения № 2840299 и № 2858203 [19, 20].

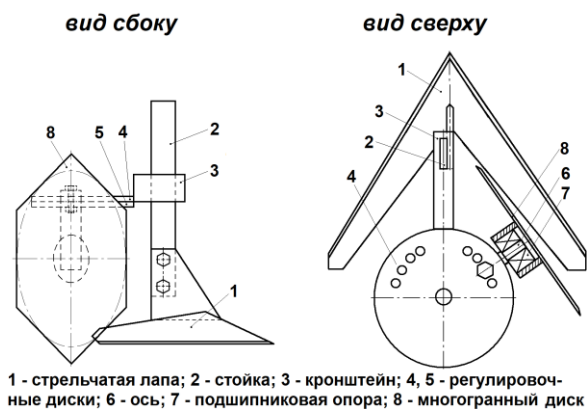
Цель исследования – изучение и теоретическое обоснование параметров многогранного диска и рабочей скорости культиватора на второй междурядной обработке с учетом наличия сформированного при первой междурядной обработке гребня почвы в защитной зоне рядка растений.

### Материалы и методы

В предлагаемом варианте технологии механизированную обработку междурядий перспективно реализовать пропашным культиватором (рис. 1), на его грядилях симметрично смонтированы разработанные рабочие органы (рис. 2), на осях которых с возможностью вращения вертикально и под острым углом в сторону движения установлены многогранные диски. Величина перекрытия между «краями крыльев стрельчатых лап и, соответственно, расстояние между многогранными дисками изменяется от вида возделываемых культур и номера междурядной обработки» [18].



Рис. 1. Рабочие органы, смонтированные на секции культиватора



1 - стрелчатая лапа; 2 - стойка; 3 - кронштейн; 4, 5 - регулировочные диски; 6 - ось; 7 - подшипниковая опора; 8 - многогранный диск

Рис. 2. Рабочий орган культиватора

Как и при наиболее распространенной технологии междурядной обработки предлагаемая технология предполагает второй и последующие проходы пропашного культиватора вдоль рядков растений с постоянной скоростью, рыхление почвы в междурядьях на заданную глубину обработки, а также подрезание сорняков в междурядьях стрелчатыми лапами 1. Одновременно многогранные диски 8, установленные под острым углом к рядку растений, смещают определенный объем рыхлой почвы из междурядий в сторону линии высеянных семян. Этим обеспечивается засыпание сорняков на необработанной площади рядка и окучевание культурных растений. Предварительно после первой междурядной обработки вдоль рядов высеянных и взошедших растений формируется первичный гребень почвы в форме трапеции при расположении культурных растений по центру гребня (рис. 3). Как правило, слоя почвы толщиной  $H$  (высота трапеции), равной  $0,03...0,05$  м достаточно для подавления роста и развития большинства сорняков.

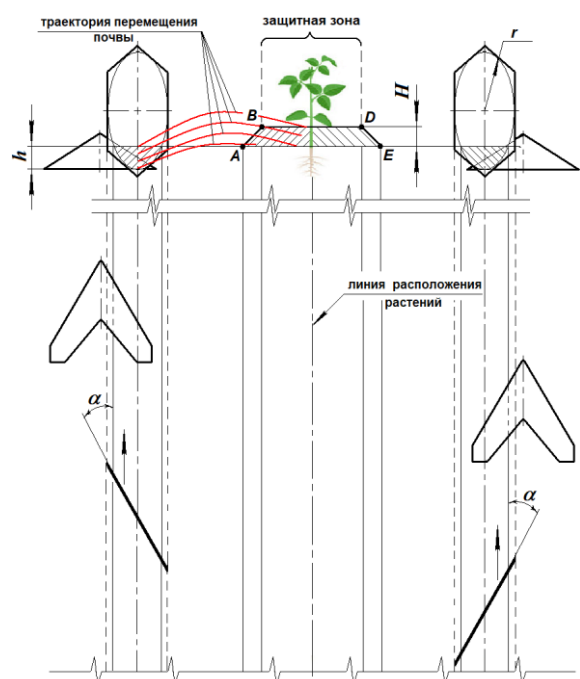


Рис. 3. Формирование первичного гребня почвы в защитной зоне рядка

### Результаты

Для качественного проведения второй междурядной обработки также необходимо переместить многогранными дисками 8 взрыхленную почву из междурядий в рядок растений для образования вторичного гребня над первичным (фигура  $ABDE$ , рис. 3). При этом толщина присыпаемого слоя почвы  $H$  должна быть достаточной для предотвращения всходов сорняков.

Для формирования вторичного гребня почвы необходим объем почвы  $V_1, \text{ м}^3$ , который образует толщину слоя  $h_1, \text{ м}$  [18] (рис. 4).

Анализ рис. 3 и 4. показал, что для обеспечения требуемой толщины слоя  $h_1$  необходимо равенство переносимого объема почвы  $V_1, \text{ м}^3$ , из междурядий объему  $V_2, \text{ м}^3$ , перемещенной почвы (фигура  $V_{A_1B_1C_1C'BA_1MNP_1N_1M_1}$ ), который «зависит от угла атаки  $\alpha$ , град., многогранных дисков и глубины  $h$ , м, их хода в почве» [18] (рис. 5).

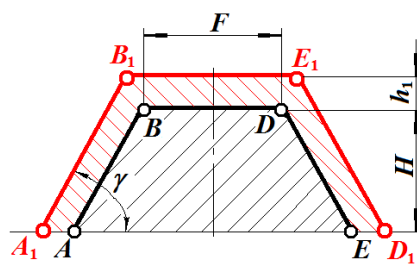


Рис. 4. Формирование вторичного гребня почвы

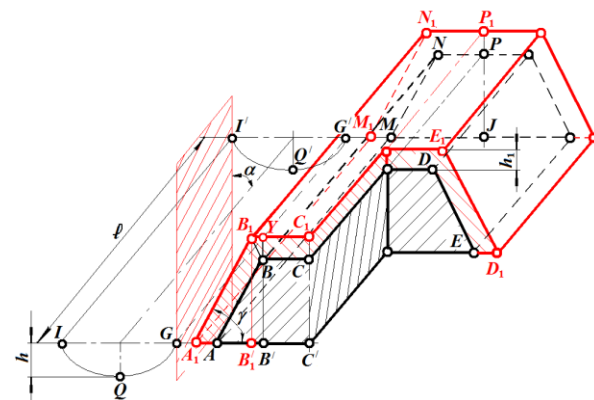


Рис. 5. К определению объема почвы, смещаемой многогранным диском из междурядья

Перемещаемый из междурядья многогранным диском, установленным вертикально под углом атаки  $\alpha$ , объем почвы

$$V_1 = 0,5 V_{IQG'Q'I'} = 0,5 S_{IQG} \ell, \quad (1)$$

где  $S_{IQG}$  – площадь поперечного сечения борозды, образованной многогранным диском,  $\text{ м}^2$ ;  $\ell = C_1P_1 = I'I' = (2r \cdot \sin(0,5\theta) \cos \alpha)$  – длина пути многогранного диска в единицу времени, м;  $r$  – радиус вписанной в многогранный диск окружности, м.

Исходя из того, что площадь  $S_{IQG} = S_{UWZ} \cdot \sin \alpha = [0,5 r^2 \frac{\theta}{360^\circ} - r \sin \frac{\theta}{2} (r - h)] \sin \alpha$ , (2)

после совместного решения уравнений (2) и (1) получим:

$$V_1 = \left[ 0,5 r^2 \frac{\theta}{360^\circ} - r \sin \frac{\theta}{2} (r - h) \right] \cdot 2 r \sin \frac{\theta}{2} \sin \alpha \cdot \cos \alpha. \quad (3)$$

Перемещенный одним многогранным диском объем почвы, м<sup>3</sup>,  
 $V_2 = V_{A_1 B_1 C_1 C' B A M N P P_1 N_1 M_1} = S_{A_1 B_1 C_1 C' B A} \cdot C_1 P_1, \quad (4)$

где  $S_{A_1 B_1 C_1 C' B A}$  – площадь половины поперечного сечения смещенной на первичный гребень почвы;  
 $S_{A_1 B_1 C_1 C' B A} = S_{A_1 B_1 C_1 C' A_1} - S_{A B C C'}, \quad (5)$

$$C_1 P_1 = I I' = \ell = 2 r \sin \frac{\theta}{2} \cdot \cos \alpha, \quad (6)$$

где  $S_{A_1 B_1 C_1 C' A_1}$  и  $S_{A B C C'}$  – площади половины поперечного сечения вторичного и первичного гребней почвы соответственно, м<sup>2</sup>.

Площадь половины поперечного сечения вторичного гребня почвы

$$S_{A_1 B_1 C_1 C' A_1} = \frac{(H + h_1)^2 \operatorname{tg} \gamma}{2} + (H + h_1) \left( \frac{h_1}{\operatorname{tg} \gamma} + \frac{F}{2} \right). \quad (7)$$

где  $F$  – ширина верхнего основания первичного гребня почвы, м.

Из рис. 5. следует, что площадь  $S_{A B C C'}$  включает площади  $S_{A B B'}$  и  $S_{B' B C C'}$ . Тогда после соответствующих математических вычислений получим:

$$S_{A_1 B_1 C_1 C' B A} = \frac{(H + h_1)^2 \operatorname{tg} \gamma + 2 \left[ (H + h_1) \left( \frac{h_1}{\operatorname{tg} \gamma} + \frac{F}{2} \right) \right] - H(H \operatorname{tg} \gamma + F)}{2}. \quad (8)$$

После подстановки уравнений (8) и (5) в уравнение (4), и совместного их решения, найдем объем почвы, м<sup>3</sup>, смещенный из междурядья одним многогранным диском на вторичный гребень почвы:

$$V_2 = \left\{ (H + h_1)^2 \operatorname{tg} \gamma + 2 \left[ (H + h_1) \left( \frac{h_1}{\operatorname{tg} \gamma} + \frac{F}{2} \right) \right] - H(H \operatorname{tg} \gamma + F) \right\} r \cdot \sin \frac{\theta}{2} \cdot \cos \alpha. \quad (9)$$

Совместное решение уравнений (3) и (9) позволяет определить угол атаки многогранного диска:

$$\alpha = \arcsin \frac{\left\{ (H + h_1)^2 \operatorname{tg} \gamma + 2 \left[ (H + h_1) \left( \frac{h_1}{\operatorname{tg} \gamma} + \frac{F}{2} \right) \right] - H(H \operatorname{tg} \gamma + F) \right\}}{2 \left[ 0,5 r^2 \frac{\theta}{360^\circ} - r \sin \frac{\theta}{2} (r - h) \right]}. \quad (10)$$

Из анализа уравнения (10) следует, что на толщину  $h_1$  смещенной на первичный гребень почвы, кроме угла атаки  $\alpha$ , оказывают влияние радиус  $r$  вписанной в многогранный диск окружности и глубина  $h$  хода многогранного диска в почве.

В дальнейшем были проведены экспериментальные исследования рабочего органа культиватора с многогранным диском с целью подтверждения теоретически обоснованных параметров. Для этого применяли установленный в почвенном канале лабораторный комплекс. Влажность почвы в канале обеспечивали в пределах 19...23 %, что соответствует агротехническим требованиям. Стрельчатые лапы 1 при первой междурядной обработке устанавливали на глубину хода 0,05 м, при второй обработке – 0,08 м.

Многогранный диск 8 регулировали по высоте таким образом, чтобы нижняя часть вписанной окружности многогранника располагалась в одной горизонтальной плоскости с режущими кромками стрельчатой лапы 1, а вершины многогранника были ниже ее режущих кромок крыльев. Количество вершин многогранного диска составляло 6, а диаметр вписанной в многогранный диск окружности был равен 0,25 м; 0,3 м и 0,35 м. Угол атаки многогранного диска изменяли от 5° до 30° с интервалом 5°, а скорость перемещения рабочего органа варьировали от 1,2 м/с до 2,4 м/с с интервалом 0,4 м/с.

Анализ полученных экспериментальных данных позволил установить, что для формирования первичного гребня почвы высотой  $H = 0,03...0,05$  м необходимо использовать многогранный диск с диаметром вписанной окружности 0,35 м. При этом его следует установить под углом атаки  $\alpha = 15^\circ$  и обеспечить скорость перемещения рабочего органа в почве 1,6 м/с. Для обеспечения толщины слоя  $h_1 = 0,05...0,06$  м вторичного гребня почвы многогранный диск с аналогичными параметрами необходимо установить под углом  $\alpha = 20^\circ$  и обеспечить его движение со скоростью 1,6...2 м/с.

#### Обсуждение

Анализ общедоступных научных исследований [6, 8, 10] по заявленной тематике позволил установить, что применение орудий или рабочих органов культиватора, оснащенных сдвигающими скребками и щитками, не всегда обеспечивает достижение заданных агротехническими требованиями параметров. В частности, на культиваторах отсутствуют механизмы для изменения углов атаки в зависимости от глубины хода рабочих органов, что не позволяет оптимизировать объем смещаемой из междурядий в защитные зоны рядков почвы, из-за чего возникает существенное снижение показателей качества механизированного ухода за посевами, главным образом, из-за повреждения и заваливания культурных растений. Кроме того, невозможность регулирования угла атаки таких элементов конструкции вызывает необходимость увеличения глубины хода рабочих органов, что не всегда оправдано на ранних этапах ухода за посевами или на посевах растений с длительным периодом роста, например, на посевах сои.

Теоретически обоснованные угол атаки и диаметр вписанной в многогранный диск окружности, которые подтверждены экспериментальными исследованиями, позволили заключить, что для формирования вторичного гребня почвы необходим многогранный диск с диаметром вписанной окружности 0,35 м, который следует использовать при угле атаки  $\alpha = 20^\circ$  и скорости движения 1,6...2 м/с.

#### Заключение

Теоретическое и экспериментальное обоснование параметров исследованных рабочих органов культиватора позволило оценить влияние размера и угла атаки многогранного диска на процесс формирования вторичного гребня почвы в защитной зоне

рядков культурных растений. В частности, выявлено, что на размеры вторичного гребня почвы в большей степени влияют диаметр вписанной окружности многогранного диска, угол его атаки и скорость перемещения культиватора, в меньшей степени – угол естественного откоса почвы. Для формирования толщины слоя  $h_1 = 0,05...0,06$  м на боковых сторонах и верхнем основании первичного гребня почвы необходимо применить многогранный диск с диаметром вписанной окружности 0,35 м, обеспечить скорость его перемещения 1,6...2 м/с, а многогранный диск установить под углом атаки  $\alpha = 20^\circ$  к направлению движения агрегата, что соответствует углу атаки  $\alpha$ , полученному при его теоретическом обосновании.

#### Литература

1. 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
2. Обеспеченность рынка специализированной техники гидравлическими распределителями российского производства / С.Б. Карякин, Е.А. Максимов, А.В. Коломейченко и др. // Вестник Казанского ГАУ. 2023. № 1(69). С. 68-74. doi:10.12737/2073-0462-2023-68-74
3. Babitskiy, L. Results of research of working bodies with increased reliability of tillage and sowing machines / L. Babitskiy, V. Moskalevich, A. Belov // E3S Web of Conferences. ICMTMTE, 2020. Vol. 193. P. 01042. doi: 10.1051/e3sconf/202019301042
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. Хафизов К. А., Хафизов Р. Н., Нурмиев А. А. Анализ влияния энергоёмкости технологической операции на оптимальные значения основных параметров трактора «Беларусь» // Вестник Казанского ГАУ. 2025. № 2(78). С. 113-124. doi: 10.12737/2073-0462-2025-113-124.
8. Набиев Т. С. Повышение качества сева и междурядной обработки пропашных культур // Успехи современного естествознания. 2010. № 9. С. 192-193.
9. 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
10. 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
11. 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
12. Курдюмов В. И., Зыкин Е. С., Шаронов И. А. Новый рабочий орган культиватора // Сельский механизатор. 2012. № 11 (45). С. 12.
13. 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.
14. 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.
15. Результаты сравнительных испытаний блочномодульных культиваторов / Н. К. Мазитов, Л. З. Шаррафиев, Р. Л. Сахапов и др. // Тракторы и сельхозмашины. 2013. № 3. С. 54-56.
16. 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
17. 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.
18. Курдюмов В. И., Зыкин Е. С. Технология и средства механизации гребневого возделывания пропашных культур: монография Ульяновск: ВегаМЦ, 2017. 320 с.
19. Патент 2840299 Российская Федерация, МПК А01В39/20, А01В13/02, А01В35/18. Рабочий орган культиватора / В. И. Курдюмов, Е. С. Зыкин, А. Н. Кривоногов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. № 2024137926; заявл. 16.12.2024; опубл. 21.05.2025, Бюл. № 15.
20. Патент 2858203 Российская Федерация, МПК А01В39/18, А01В13/02, А01В49/02. Пропашной культиватор / В. И. Курдюмов, Е. С. Зыкин, А. Н. Кривоногов; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ. № 2025100667; заявл. 10.01.2025; опубл. 13.03.2026, Бюл. № 8.

#### References

1. 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. R. 00040. doi: 10.1051/e3sconf/201912600040

2. Availability of the specialized equipment market with Russian-made hydraulic distributors / S. B. Karyakin, E. A. Maksimov, A. V. Kolomeichenko, et al. // Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2023. No. 1 (69). P. 68-74. doi: 10.12737/2073-0462-2023-68-74

3. Babitskiy, L. Results of research of working bodies with increased reliability of tillage and sowing machines / L. Babitskiy, V. Moskalevich, A. Belov // E3S Web of Conferences. ICMTMTE, 2020. Vol. 193. P. 01042. doi: 10.1051/e3sconf/202019301042

4. Some issues on heat supply in the "soil-plant-air" system / I. I. Maksimov, A. R. Valiev, E. P. Alekseev, et al. // Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2024. No. 4 (76). P. 81-87. doi: 10.12737/2073-0462-2024-81-87.

5. Modern technologies and special equipment for potato growing / A. Yu. Izmailov, N. N. Kolchin, Ya. P. Lobachevsky, et al. // Agricultural machinery and technologies. 2015. No. 3. P. 43-47.

6. 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.

7. Khafizov K. A., Khafizov R. N., Nurmiev A. A. Analysis of the influence of the energy intensity of a technological operation on the appropriate values of the main parameters of the Belarus tractor // Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2025. No. 2 (78). P.113-124. doi: 10.12737/2073-0462-2025-113-124.

8. 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.

9. 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

10. 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

11. Using digital technologies in crop production for storing and analyzing field history data / N.V. Stepanykh, E.V. Nesterova, A.M. Zargaryan, et al. // Achievements of

science and technology in the agro-industrial complex. 2022. Vol. 36. No. 3. P.97–102. doi: 10.53859/02352451\_2022\_36\_3\_97

12. Kurdyumov V.I., Zykin E.S., Sharonov I.A. New working element of a cultivator // Rural mechanic. 2012. No. 11 (45). P. 12.

13. Design and study of seeding devices for selection of small seeding machines / V. Nemtinov, N. Kryuchin, A. Kryuchin, et al. //E3 S Web of Conferences. ICMTMTE, 2019. Vol. 126. No. 00008. doi: 10.1051/e3sconf/201912600008.

14. Current problems and priority directions of development of potato growing / 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.

15. 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.

16. 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

17. Improving the methodology for designing soil conservation technologies on slope agricultural landscapes / S.I. Chuchkalov, V.V. Alekseev, I.I. Maksimov, et al. // Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2023. No. 3 (71). P. 111-116. doi: 10.12737/2073-0462-2023-111- 116.

18. Kurdyumov V. I., Zykin E. S. Technology and means of mechanization of ridge cultivation of row crops: monograph Ulyanovsk: VegaMC, 2017. 320 p.

19. Patent 2840299 Russian Federation, IPC A01B39/20, A01B13/02, A01B35/18. Working element of a cultivator / V. I. Kurdyumov, E. S. Zykin, A. N. Krivonogov; applicant and patent holder FSBEI HE Ulyanovsk State Agrarian University. No. 2024137926; appl. 16.12.2024; publ. 21.05.2025, Bull. No. 15.

20. Patent 2858203 Russian Federation, IPC A01B39/18, A01B13/02, A01B49/02. Row-crop cultivator / V. I. Kurdyumov, E. S. Zykin, A. N. Krivonogov; applicant and patent holder FSBEI HE Ulyanovsk State Agrarian University. No. 2025100667; appl. 10.01.2025; published 13.03.2026, Bull. No. 8.