

**ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ /
TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT**<https://doi.org/10.15507/2658-4123.036.202601.010-040>EDN: <https://elibrary.ru/ipexzh>

УДК / UDK 631.517

*Оригинальная статья / Original article***Моделирование процесса вертикальной
обработки почвы турбодисковым
культиватором для территорий Крыма****И. Е. Припоров** ✉, **В. С. Курасов**, **В. И. Бацунов***Кубанский государственный аграрный
университет имени И. Т. Трубилина,**г. Краснодар, Российская Федерация, <https://ror.org/058jafb94>*✉ i.priporov@yandex.ru*Аннотация*

Введение. Перспективным способом обработки пахотного слоя является вертикальная обработка почвы сельскохозяйственной техникой с дисковыми рабочими органами. Применение таких агрегатов направлено на измельчение и частичную заделку растительных остатков в почву с минимальным ее повреждением, что приводит к повышению урожайности. Однако исследований по моделированию процесса вертикальной обработки почвы турбодисковым культиватором проведено недостаточно.

Цель исследования. Провести моделирование процесса вертикальной обработки почвы разработанным турбодисковым культиватором для повышения его производительности.

Материалы и методы. В качестве объекта исследования представлена конструкция модернизированного турбодискового культиватора (патент РФ № 2825223). Метод исследований основан на положениях теоретической механики и математики. Достоверность полученных зависимостей производительности от количества волн на волнистом диске при скорости 18 км/ч и длине игл 0,2565 и 0,3195 м проверяли по критерию Кохрена.

Результаты исследований. Приведена блок-схема алгоритмов вертикальной обработки почвы разработанным турбодисковым культиватором и оптимизации его производительности. Получены проекции скорости точки.

Обсуждение и заключение. При скорости движения машинно-тракторного агрегата 15 км/ч, длине иглы 0,2565 м и изменении диаметра волнистого диска от 0,343 до 0,559 м производительность повышается с 3,72 до 4,37 га/ч при количестве лопаток – 4 шт. на игольчатом диске; при 6 лопатках – 5,46–6,41 га/ч и 8 лопатках – 7,20–8,45 га/ч. Обоснование рациональной производительности турбодискового культиватора для вертикальной обработки почвы, усовершенствованная его конструкция по патенту РФ № 2825223, а также блок-схема алгоритма, позволяющая выбрать оптимальную производительность турбодискового культиватора при различных режимных показателях и конструктивных параметрах игольчатого и волнистого дисков, является практически значимой для исследований в сфере сельского хозяйства. Перспективы исследования – разработка и поиск новых технических решений для модернизации конструкций рабочих органов турбодискового культиватора для снижения энергоемкости и повышения его производительности.

© Припоров И. Е., Курасов В. С., Бацунов В. И., 2026

Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Ключевые слова: скорость машинно-тракторного агрегата, турбодисковый культиватор, растительные остатки, волнистый диск, игольчатый диск, блок-схема алгоритма, критерий Кохрена

Финансирование: работа выполнена в рамках госбюджетной тематики Кубанского ГАУ (№ 121032300060-2), 2026–2030 гг.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.


Для цитирования: Припоров И.Е., Курасов В.С., Бацунов В.И. Моделирование процесса вертикальной обработки почвы турбодисковым культиватором для территорий Крыма. *Инженерные технологии и системы*. 2026;36(1):10–40. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.036.202601.010-040>

Simulating the Process of Vertical Tillage with a Turbo-Disc Cultivator for the Territories of Crimea

I. E. Priporov , V. S. Kurasov, V. I. Bacunov

I. T. Trubilin Kuban State Agricultural University,

Krasnodar, Russian Federation, <https://ror.org/058jafb94>

 *i.priporov@yandex.ru*

Abstract

Introduction. A promising means for cultivating the arable layer is vertical tillage using agricultural machinery with disc working tools. This agricultural machinery is used to crush and partially embed plant residues into the soil with minimal soil damage that results in increased yields. However, there have not enough studies been conducted on simulating the vertical tillage process using a turbodisc cultivator.

Aim of the Study. The study is aimed at simulating the process of vertical tillage with a developed turbodisc cultivator to increase the cultivator performance.

Materials and Methods. The object of the study is the upgraded turbo-disc cultivator (RF Patent No. 2825223). The research method is based on the principles of theoretical mechanics and mathematics. There was used the Cochran criterion to confirm the reliability of the obtained dependences of the cultivator performance on the number of waves on a wave disc at a speed of 18 km/h and needle lengths of 0.2565 and 0.3195 m.

Results. There is presented a block diagram of algorithms for vertical tillage with a developed turbodisc cultivator and the cultivator performance optimization. There have been found the projections of the point velocity.

Discussion and conclusion. When the the tractor-machine unit speed is of 15 km/h, the needle length is 0.2565 m and the wave disc diameter is from 0.343 to 0.559 m, the productivity increases from 3.72 to 4.37 ha/h with 4 blades on the needle disc, from 5.46 to 6.41 ha/h with 6 blades and from 7.20 to 8.45 ha/h with 8 blades. The practical significance of the research is the substantiation of the rational performance of the turbo-disc cultivator for vertical tillage, as well as the block diagram of the algorithm, which will allow you to choose the optimal performance of the turbo-disc cultivator under various regime indicators and design parameters of the needle and wavy discs. The prospects of the research are the development and search for new technical solutions to improve the design of the working bodies of the turbo-disc cultivator, which will reduce its energy consumption and increase its productivity.

Keywords: machine and tractor unit speed, turbodisc cultivator, plant residues, wave disc, needle disk, the block diagram of the algorithm, Cochran's criterion

Funding: The work was carried out within the framework of the state budget matter of the Kuban State Agrarian University (№ 121032300060-2), 2026–2030.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

For citation: Priporov I.E., Kurasov V.S., Bacunov V.I. Simulating the Process of Vertical Tillage with a Turbo-Disc Cultivator for the Territories of Crimea. *Engineering Technologies and Systems*. 2026;36(1):10–40. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.036.202601.010-040>

ВВЕДЕНИЕ

Интенсификация сельского хозяйства сопровождается значительным увеличением производительности почвообрабатывающих машин (ПОМ), что в процессе обработки почвы приводит к усилению переуплотнения подпочвенных слоев, потере влаги, развитию водной и ветровой эрозии. В результате снижается плодородие земли, растут потери урожая и себестоимость производимой продукции. Вопрос обеспечения населения продовольствием собственного производства в современных условиях является приоритетным направлением, поэтому усовершенствование ПОМ, воздействующих на верхний плодородный слой почвы, представляет собой важную задачу [1]. Применяемые средства механизации для обработки почвы основных сельскохозяйственных культур не соответствуют зональным почвенно-климатическим и производственным условиям. Поэтому дальнейшее наращивание производства сельскохозяйственной продукции в рыночных условиях невозможно без внедрения научно обоснованных технологий и систем обработки почвы.

Среди сельскохозяйственных машин представлены почвообрабатывающие агрегаты с разным набором рабочих органов и количеством выполняемых операций, вследствие чего производителям сложно выбрать из множества представленных образцов [1; 2]. Выбор ПОМ осуществляется по конструктивным и эксплуатационным свойствам турбодисковых культиваторов (ТДК)¹.

При внесении в почву растительных остатков (РО) сельскохозяйственных культур существует проблема их измельчения на частицы размером не более 15 см и дополнительного расщепления на части для последующего разложения. Несмотря на разнообразие почвообрабатывающих агрегатов, в настоящее время отсутствуют ПОМ по измельчению высокостебельных культур [3; 4]. Перспективными представляются агрегаты с пассивными рабочими органами. Анализ конструкций ПОМ и рабочих органов для послеуборочного измельчения РО имеет большое значение [3; 5].

В качестве альтернативной природоохранной подготовки пахотного слоя, способной интенсивно удалять РО, защищая почву и окружающую среду, предложена вертикальная обработка почвы (ВОП). Многие производители сельскохозяйственной техники, например Great Plains (Салина, Канзас, США), выпускали свои машины для ВОП. Z. Zeng и Y. Chen изучили условия обработки почвы [6]. Данный вид обработки позволяет увеличить урожайность до 8,5 ц/га, что в условиях засушливого Крыма представляется трудной задачей. Основная особенность ВОП заключается в минимизации слоев структуры почвы, обладающей повышенной плотностью в зоне заделки семян. При вертикальной обработке корневая система сельскохозяйственных культур вегетативно развивается в разные стороны и в глубину,

¹ Точицкий А.А., Лепешкин Н.Д., Костюков П.П., Козлов Н.С. Почвовлагодережающие технологии и средства механизации обработки легких почв в Республике Беларусь. В: Механизация и электрификация сельского хозяйства: сб. статей. Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; 2012. С. 3–10. <https://elibrary.ru/zsfzyr>; Лепешкин Н.Д., Точицкий А.А., Добрян В.В. Анализ типа почвообрабатывающей части современных почвообрабатывающих посевных машин и ее рабочих органов. В: Механизация и электрификация сельского хозяйства: сб. статей. Минск: РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»; 2010. С. 65–73. <https://www.elibrary.ru/ywdxxn>

что позволяет растениям быть более засухоустойчивыми за счет взятия влаги из более низких горизонтов [7].

Преыдущие исследования показали многообещающие результаты применения ВОП с точки зрения сохранения воды, а также увеличения урожайности². Однако моделированию процесса вертикальной обработки почвы ТДК было уделено недостаточно внимания.

Целью исследования является повышение производительности турбодискового культиватора путем моделирования процесса ВОП. Задачи исследования включают в себя разработку конструкции ТДК для вертикальной обработки почвы с заделкой стерни, построение блок-схем по определению рациональной производительности ТДК в зависимости от конструктивных параметров дисковых рабочих органов (ДРО), его эксплуатационных показателей и выполнения технологического процесса ВОП. Необходимо определить направления скорости и ускорений рассматриваемой точки лопатки игольчатого диска, построить графики по изменению направляющего косинуса проекции скорости и ускорений на оси координат, построить зависимости производительности от количества волн на волнистом диске при $\vartheta_m = 18$ км/ч, $L_1 = 0,2565$ м и $L_1 = 0,3195$ м; представить результаты моделирования экспериментального машинно-тракторного агрегата в зависимости от конструктивных параметров волнистого диска, длины иглы игольчатого диска и скорости движения ТДК.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В настоящее время проведен анализ взаимодействия дисковых рабочих органов и рассмотрена кинематика движения при проектировании орудий³. Установлена связь бионического профиля ДРО с качеством обработки почвы. Выяснено, что стойкость его поверхности снижается при взаимодействии с негладкими поверхностями тел жуков землероек. Проведены эксперименты по снижению тягового сопротивления ДРО в сравнении с серийными рабочими органами [7; 8]. В. П. Горячкин на основании теории трехгранного клина обосновал силу тяги в горизонтальном направлении при взаимодействии сферического диска с поверхностью почвы [7].

Известно, что поверхностная обработка почвы без оборота пласта с сохранением растительных остатков способствует экономии ресурсов и защите от эрозии [9–11].

Коллектив ученых из Донского технического университета разработал математическую модель движения отвала культиватора с пружинными зубьями, учитывающую их конфигурацию и режим вибрации [12].

Решающее практическое значение для сельскохозяйственных машин имеет теория устойчивости движения, поскольку от нее зависит работа в технологическом процессе. Рассмотренные методы расчета и примеры их применения оценивают

² Chen Y., Dampousse S., Li H. Vertical Tillage and Vertical Seeding. In: CSBE/SCGAB 2016 Annual Conference. Halifax; 2016. URL: <https://library.csbe-scgab.ca/all-publications/3277:vertical-tillage-and-vertical-seeding> (дата обращения: 25.04.2025); Klingberg K., Weisenbeck C. Shallow Vertical Tillage: Impact on Soil Disturbance and Crop Residue. In: Proceedings of the 2011 Wisconsin Crop Management Conference; 2011. URL: <https://extension.soils.wisc.edu/wcmc/shallow-vertical-tillage-impact-on-soil-disturbance-and-crop-residue/> (дата обращения: 25.04.2025); Watters H.D., Douridas N.N. Soybean Seeding Rates by Tillage: No-Till vs Vertical Till. The Ohio State University; 2013.

³ Синекоков Г.Н., Панов И.М. Теория и расчет почвообрабатывающих машин. М.: Машиностроение; 1977. 328 с.

работоспособность сложных динамических систем без численного решения сложных дифференциальных уравнений движения при наличии внешних возмущений [13].

Учеными из Судана и Индонезии проведено исследование производительности культиватора Mотоуама MTE 70NL при вторичной обработке почвы в дождливую погоду и в условиях отсутствия дождя [14]. Погодный фактор в виде наличия дождя использовался в качестве параметра для сравнения производительности агромашины в сухую погоду [15].

Разработан комбинированный культиватор и дисковая борона (С-DH), которые имеют среднюю производительность 0,30 и 0,61 га/ч, скорость $v = 1,8$ и 3,4 км/ч соответственно. Общая эффективность выражена в виде индекса производительности (548,54) при глубине 13 см и $v = 3,4$ км/ч [16].

Для обеспечения взаимодействия лапы культиватора с почвой и прогнозирования поведения почвы в разных условиях коллектив ученых из Винницкого аграрного университета разработал математическую модель, которая оптимизирует конструкцию культиватора по производительности [17].

И. В. Соболевский на основе биосистемного подхода разработал новую конструкцию рабочего органа дисковой бороны (патент РФ № 173 238) и аналитически обосновал ее конструктивные параметры, что позволило снизить тяговое сопротивление на 14 % по сравнению с серийным органом бороны [7].

Разработана ПОМ с текстурированным крылом лопаты. На основе сочетания моделирования с дискретными элементами и цифрового теста проверки траншеи в почве изучено влияние структурных параметров текстуры поверхности на тяговое сопротивление и скорость дробления машиной⁴ [18].

Учеными из Кореи оценена производительность электрического многоцелевого культиватора методом имитационного анализа в программе Simulation X с учетом технических характеристик деталей [19].

Для повышения производительности полевого культиватора на заводе сельскохозяйственной техники Kenana (KAIF) с целью выполнения нескольких операций разработан комбинированный культиватор, позволяющий осуществлять рыхление борозд и внесение удобрений. Для снижения тягового сопротивления на 10–15 % и улучшения крошения почвы существует его модель с механизмом регулирования [20; 21].

А. Р. Валиевым получены оптимальные значения конструктивно-технологических параметров культиватора с парнодисковыми рабочими органами, которые имеют отдельные секции [22; 23].

Спроектирована и усовершенствована пассивно-активная комбинированная ПОМ (культиватор спереди и ротавадор сзади). Крутящий момент вала отбора мощности для ее работы составляет 28 % с одним ротавадором. Объем обрабатываемой почвы, снижение ее прочности и затрат энергии на топливо включены для обоих орудий в общую производительность [24].

По мнению Н. Hosseini, А. Farzad и F. Majeed производительность разработанного культиватора основывается на методах квазиньютоновской оптимизации и генетического алгоритма, которые сопоставимы с классическими методами [25].

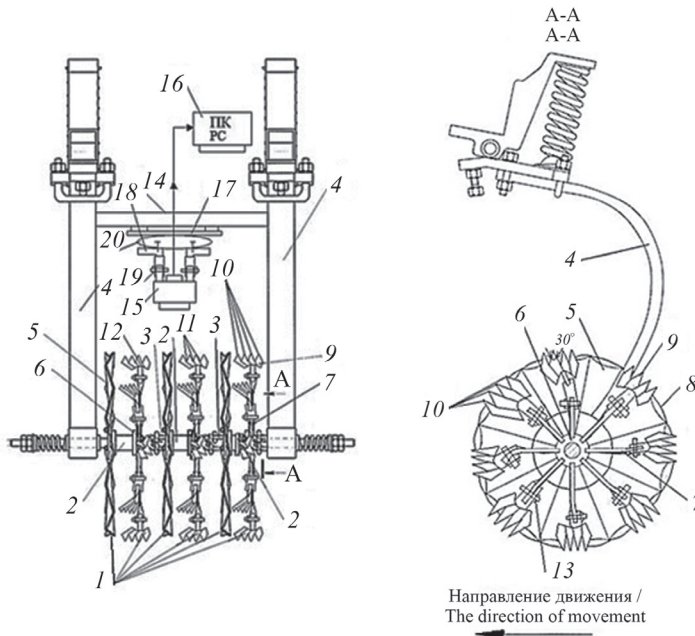
⁴ Gao X. Research on the Influencing Factors and Cultivation Effects of Subsoiled Soil Structure between Rows. Ph.D. Thesis, Northwest A&F University, Yangling; 2018.

В теоретических исследованиях отсутствует выражение для определения производительности ТДК в зависимости от конструктивных параметров волнистого и игольчатого дисков и режимного его показателя, а также блок-схема алгоритма по выбору рациональной производительности.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Оборудование

Для устранения выявленных недостатков, которые присущи турбодисковым культиваторам, проведена его модернизация (рис. 1), позволяющая снизить тяговое сопротивление с одновременным повышением качества заделки растительных остатков и расширением функциональных возможностей по обеспечению их контроля. На разработанную конструкцию получен патент РФ № 2825223.



Р и с. 1. Конструктивно-технологическая схема турбодискового культиватора:
а) общий вид; б) вид сбоку:

1 – диски; 2 – батарея; 3 – шарниры; 4 – стойка; 5 – рифленные диски; 6 – игольчатые диски; 7 – игла; 8 – окружность; 9 – лопатки зубчатые; 10 – вершина; 11 – впадина; 12 – скребок; 13, 19 – стопорные болты; 14 – рама; 15 – мультимедийное устройство; 16 – персональный компьютер; 17 – каретки; 18 – телескопические стойки; 20 – механизм поворотный

F i g. 1. Design and technological scheme of the turbo-disc cultivator:

a) general view; b) side view:

1 – discs; 2 – battery; 3 – hinges; 4 – rack; 5 – wave discs; 6 – needle discs; 7 – needle; 8 – circle; 9 – toothed blades; 10 – vertex; 11 – cavity; 12 – scraper; 13, 19 – locking bolts; 14 – frame; 15 – multimedia device; 16 – personal computer; 17 – carriages; 18 – telescopic racks; 20 – rotary mechanism

Примечание: ПК – персональный компьютер; А – вид; А-А – сечение.

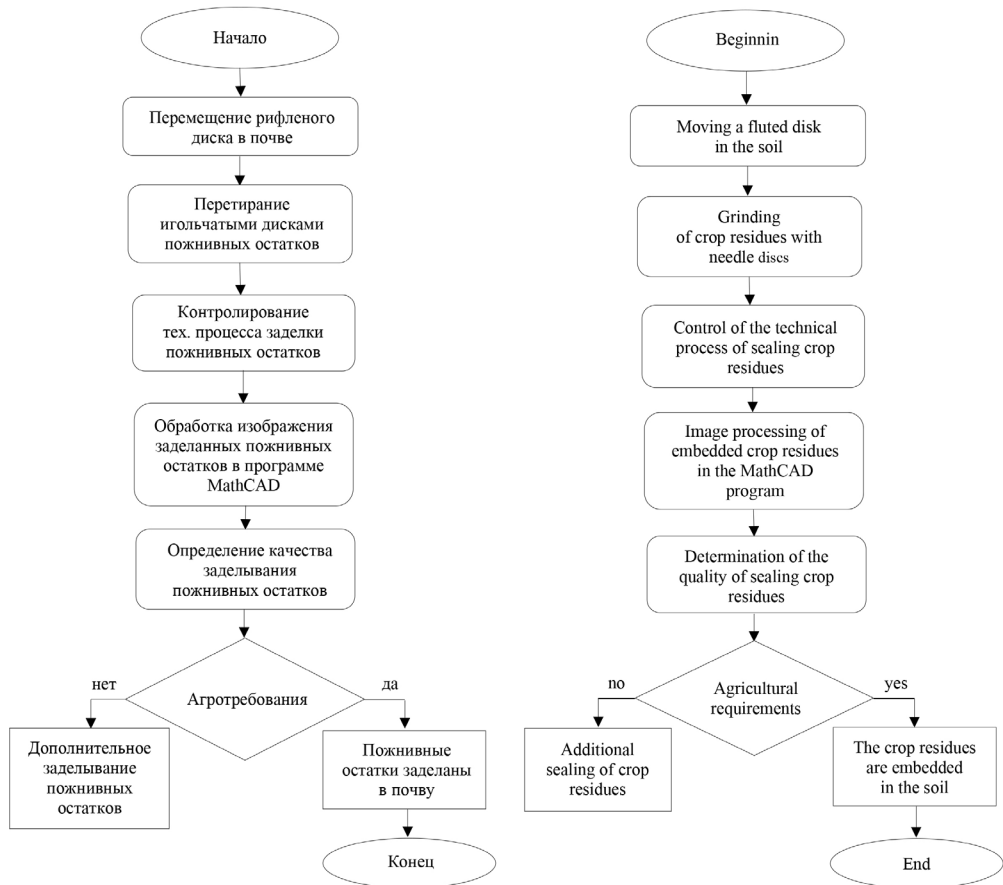
Note: ПК – personal computer; А – view; А-А – section.

Источник: рисунок взят из статьи [26].

Source: the picture is taken from the article [26].

Процедура исследования

Дисковые рабочие органы (рифленые и игольчатые) выбрали по конструктивным параметрам. Рифленые диски перемещались в почве и совершали вращательные движения независимо друг от друга, а игольчатый диск перетирали пожнивные остатки. Мультимедийное устройство, на котором проводили настройку экспозиции камеры в зависимости от яркости дневного света и освещенности, производило съемку, осуществляя контроль технологического процесса заделки пожнивных остатков. Полученное изображение подавали на обработку в программе *Mathcad* для определения качества заделки РО по агротехническим требованиям. При несоответствии требованиям проводили контроль технологического процесса работы игольчатых дисков (рис. 2).



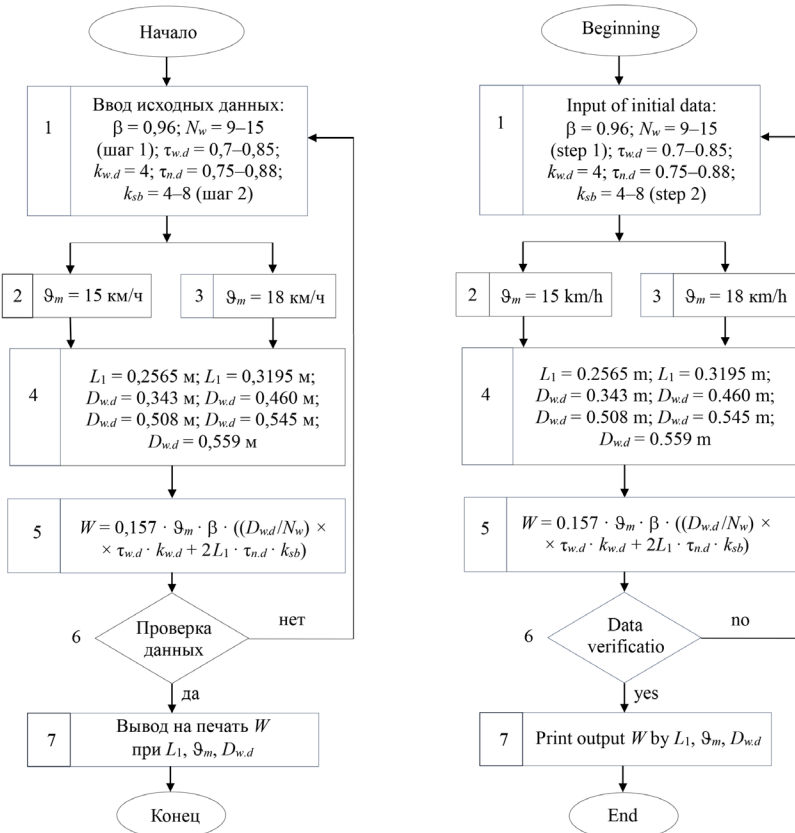
Р и с. 2. Блок-схема алгоритма вертикальной обработки почвы турбодисковым культиватором

F i g. 2. The block-diagram of the algorithm for vertical tillage with a turbodisk cultivator

Источник: рисунки 2–4 составлены авторами статьи в программе Компас-3D v18.

Source: figures 2–4 were compiled by the authors of the article in the Compass-3D v18 program.

На основании технологического процесса ВОП предложена блок-схема, приведенная на рисунке 3, которая позволила определить производительность ТДК в зависимости от конструктивных параметров дисковых рабочих органов и эксплуатационных показателей культиватора. Она состоит из семи операторов. Первый включает ввод исходных данных с ограничениями и передает управление 2–3 блокам для расчета параметров по каждому из вариантов скорости движения агрегата, состоящего из трактора и ТДК моделей Агрифест-Экспресс, Salford и др. Для каждой скорости ϑ_m ввели дополнительные данные (блок 4): длина иглы с лопаткой L_1 , диаметр волнистых дисков $D_{w.d}$.



Р и с. 3. Блок-схема алгоритма оптимизации производительности турбодискового культиватора
F i g. 3. The block-diagram of the performance optimization algorithm for a turbodisc cultivator

Примечание: β – коэффициент использования конструктивной ширины захвата; N_w – количество волн, шт.; $\tau_{w.d}$, $\tau_{n.d}$ – коэффициент использования времени смены соответственно волнистых дисков и игольчатых дисков; $k_{w.d}$ – количество волнистых дисков, шт.; k_{sb} – количество лопаток, шт.; ϑ_m – скорость движения, км/ч; L_1 – длина иглы с лопаткой, м; $D_{w.d}$ – диаметр волнистого диска, м; W – производительность турбодискового культиватора, га/ч.

Note: β – coefficient of use of the operating width; N_w – number of waves, pcs.; $\tau_{w.d}$, $\tau_{n.d}$ – time-use factor for wavy discs and needle discs, respectively, the time usage factor for changing wave discs and needle discs; $k_{w.d}$ – number of wave discs, pcs.; k_{sb} – number of blades, pcs.; ϑ_m – the speed of movement, km/h.; L_1 – length of needle with blade, m; $D_{w.d}$ – diameter of the wave disk, m; W – performance of a turbodisc cultivator.

В 5 арифметическом операторе рассчитывается производительность турбодискового культиватора по выведенной формуле для каждой скорости движения и длины иглы с лопаткой игольчатого диска. Ширина захвата культиватора – 3 м.

Предварительно логический оператор 6 проверяет: со всеми ли исходными данными выполнены расчеты.

По максимальному значению критерия оптимизации диаметра волнистого диска при каждой скорости движения и длине иглы с лопаткой игольчатого диска оператор 7 выводит на печать W , дает команду остановки расчета.

Качественные показатели технологического процесса: сохранение и заделывание пожнивных остатков в почву, глубина обработки, качество крошения почвы.

Ограничение скорости турбодискового культиватора происходило исходя из средней скорости его движения (15–18 км/ч).

В качестве изменяющихся показателей ДРО выбрано по игольчатому диску – количество лопаток (4–8), длина иглы с лопаткой $L_1 = 0,2565–0,3195$ м; волнистому диску – количество волн (9–15), диаметр (0,343–0,559 м), постоянных – количество волнистых дисков.

Анализ данных

На основе уравнения траекторий движения игольчатого диска с лопатками по времени [26] получены проекции скорости точки, которые позволили определить направления скорости и ускорений рассматриваемой точки A лопатки игольчатого диска (рис. 4) с помощью направляющих косинусов:

$$\cos(\widehat{V, x}) = \frac{\sqrt{(1 + \cos\varphi_{n.d})}}{1,41}, \quad (1)$$

$$\cos(\widehat{V, y}) = -\frac{\sin\varphi_{n.d}}{1,41\sqrt{(1 + \cos\varphi_{n.d})}}. \quad (2)$$

где V – проекция скорости на ось x , м/с; x, y – оси координат, на которые проецируются скорости точки; $\varphi_{n.d}$ – угол поворота игольчатого диска, град.

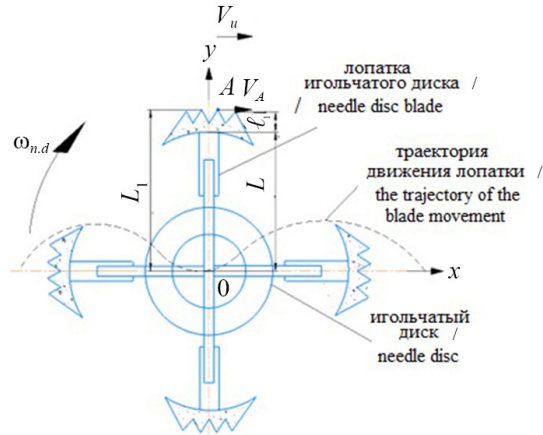
Направляющие косинуса выражения (1) и (2) для определения направления проекций скоростей изменялись по косинусоидальному закону (рис. 5, 6).

Направляющий косинус $\cos(\widehat{V, x}) = 0$ и $\cos(\widehat{V, y}) = 0$ при угле поворота 180° .

$$\begin{aligned} \cos(\widehat{a, x}) &= -\sin\varphi_{n.d} \\ \cos(\widehat{a, y}) &= -\cos\varphi_{n.d}. \end{aligned} \quad (4)$$

Направляющие косинуса $\cos(\widehat{a, x})$ для определения направления проекций ускорений изменялись по синусоидальному (рис. 7) и $\cos(\widehat{a, y})$ – косинусоидальному закону (рис. 8).

Направляющий косинус $\cos(\widehat{a, x}) = 0$ при угле поворота 180° и $\cos(\widehat{a, y}) = 0$ при 90° и 270° .

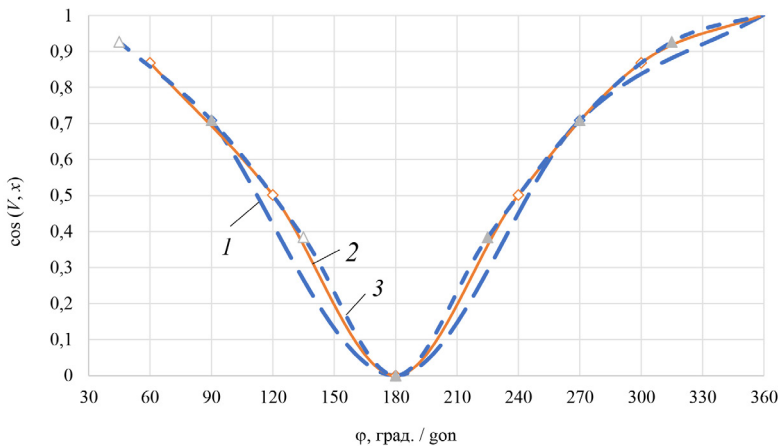


Р и с. 4. Траектория движения игольчатого диска

F i g. 4. The trajectory of the needle disc

Примечание: $\omega_{n,d}$ – угловая скорость игольчатого диска, s^{-1} ; V_u – скорость движения агрегата, км/ч; V_A – скорость точки A , м/с; ℓ_1 – длина лопатки, м; L – длина иглы, м; L_1 – длина иглы с лопаткой, м; A – точка на лопатке; x, y – оси координат.

Note: $\omega_{n,d}$ – angular velocity of the needle disc, s^{-1} ; V_u – the speed of movement of the unit, m/s; V_A – velocity of point A , m/s; ℓ_1 – length of the blade, m; L – length of the needle, m; L_1 – length of the needle with the blade, m; A – point on the blade; x, y – coordinate axes.

Р и с. 5. Графики по изменению направляющего косинуса проекции скорости на ось x :

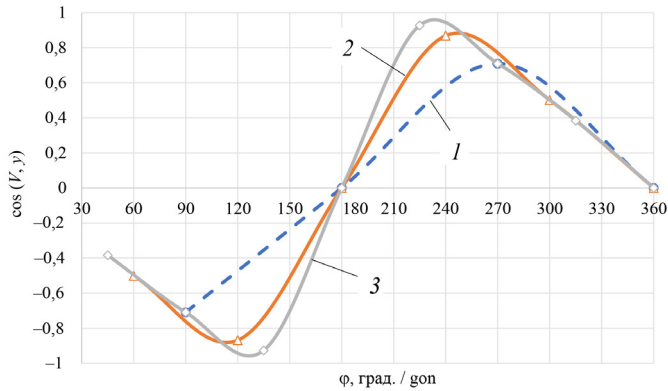
1 – 4 лопатки; 2 – 6 лопаток; 3 – 8 лопаток

F i g. 5. The graphs of the changes in the directional cosine of the velocity projection on the x -axis:

1 – 4 blades; 2 – 6 blades; 3 – 8 blades

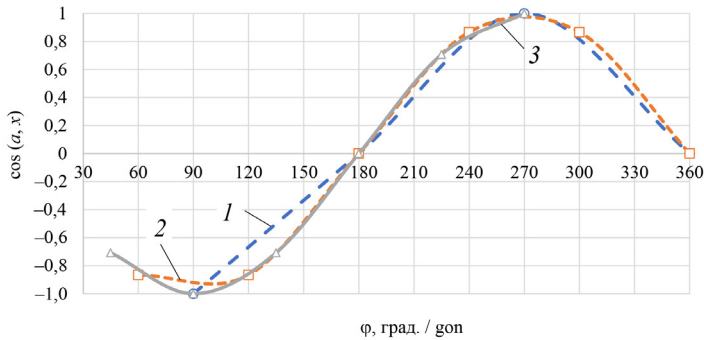
Источник: рисунки 5–8 составлены авторам статьи в программе *Microsoft Excel*.

Source: figures 5–8 are compiled for the authors of the article in the program *Microsoft Excel*.



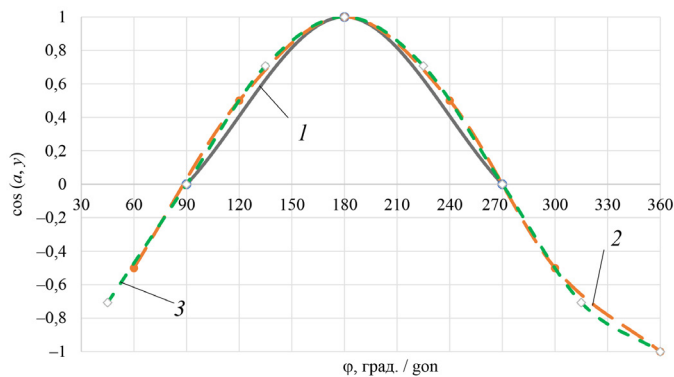
Р и с. 6. Графики по изменению направляющего косинуса проекции скорости:
 1 – 4 лопатки; 2 – 6 лопаток; 3 – 8 лопаток

F i g. 6. The graphs of changing the direction cosine of the velocity projection:
 1 – 4 blades; 2 – 6 blades; 3 – 8 blades



Р и с. 7. Графики по изменению направляющего косинуса проекции ускорения a_x :
 1 – 4 лопатки; 2 – 6 лопаток; 3 – 8 лопаток

F i g. 7. The graphs of changing the direction cosine of the acceleration projection a_x :
 1 – 4 blades; 2 – 6 blades; 3 – 8 blades



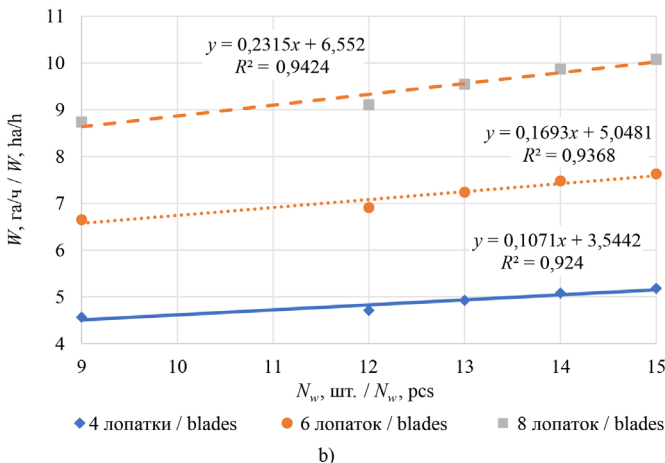
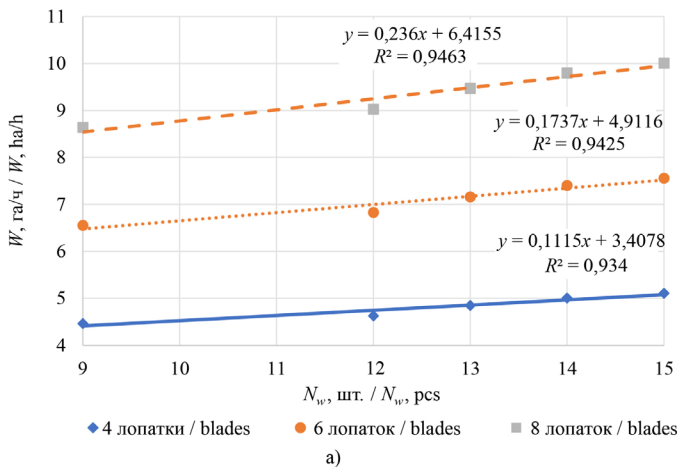
Р и с. 8. Графики по изменению направляющего косинуса проекции ускорения a_y :
 1 – 4 лопатки; 2 – 6 лопаток; 3 – 8 лопаток

F i g. 8. The graphs of changing the direction cosine of the acceleration projection a_y :
 1 – 4 blades; 2 – 6 blades; 3 – 8 blades

На основании решения задачи получены зависимости критерия оптимизации W от числа волн на волнистом диске при $\vartheta_m = 18$ км/ч, $L_1 = 0,2565$ м и $L_1 = 0,3195$ м. Достоверность полученных зависимостей производительности от количества волн на волнистом диске при скорости 18 км/ч и длине игл 0,2565 и 0,3195 м проверяли по критерию Кохрена.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ графиков на рисунках 9, 10 показывает влияние количества волн на волнистом диске на производительность ТДК, о чем свидетельствует коэффициент корреляции, который больше 0,9 в зависимости от диаметра волнистого диска и длины иглы с лопаткой при постоянной скорости движения агрегата.

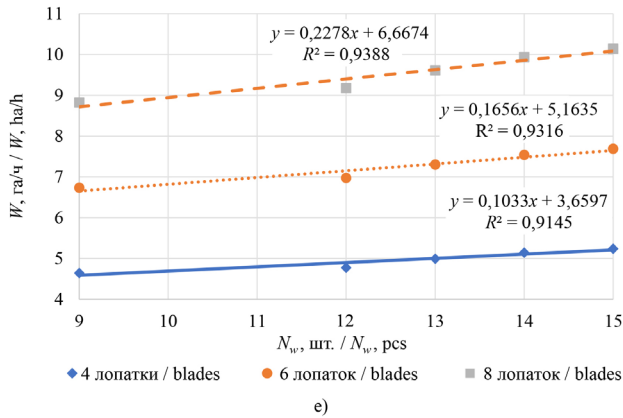
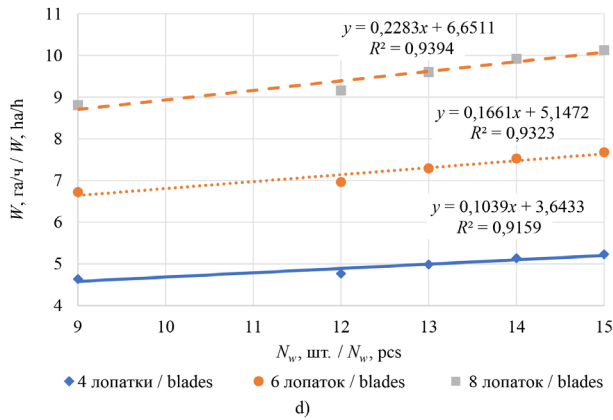
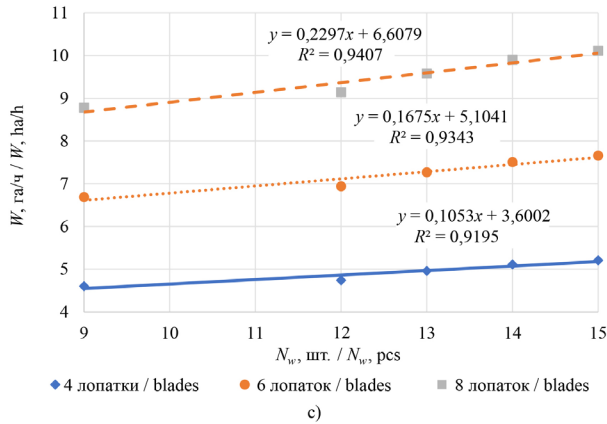


Р и с. 9. Зависимость производительности от количества волн на волнистом диске при $\vartheta_m = 18$ км/ч, $L_1 = 0,2565$ м:

a) $D_{w.d} = 0,343$ м; б) $D_{w.d} = 0,46$ м

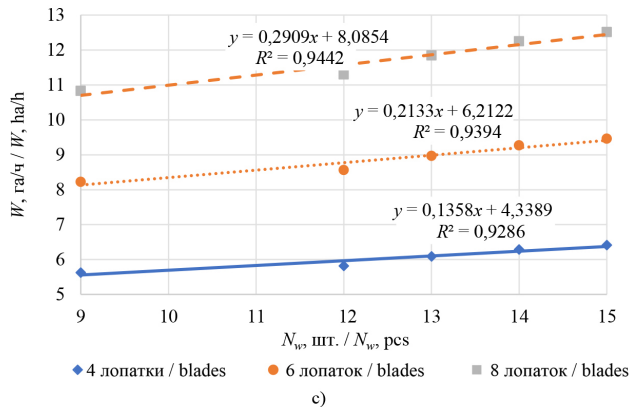
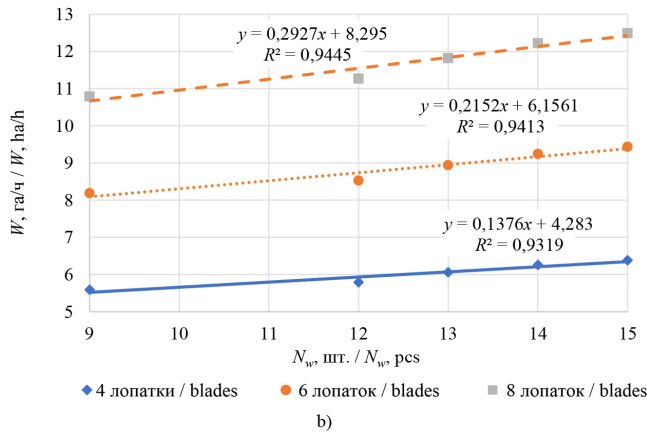
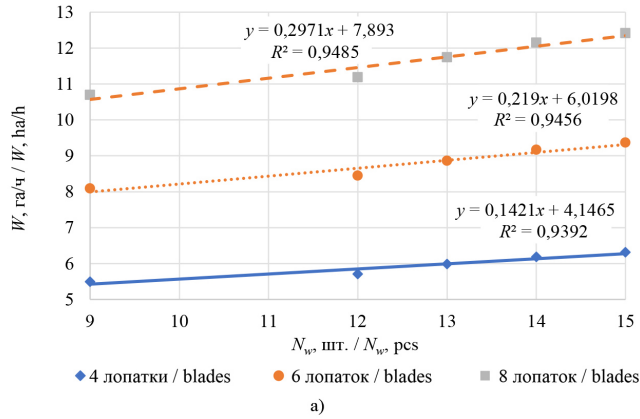
F i g. 9. The dependence of cultivator performance on the number of waves on a wave disk at $\vartheta_m = 18$ km/h, $L_1 = 0.2565$ m:

a) $D_{w.d} = 0.343$ m; б) $D_{w.d} = 0.46$ m



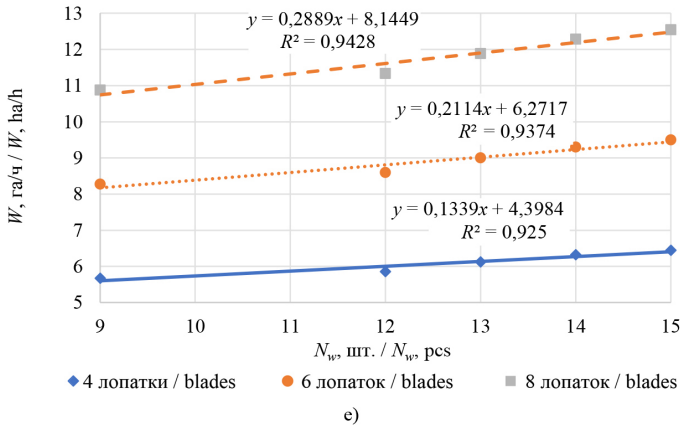
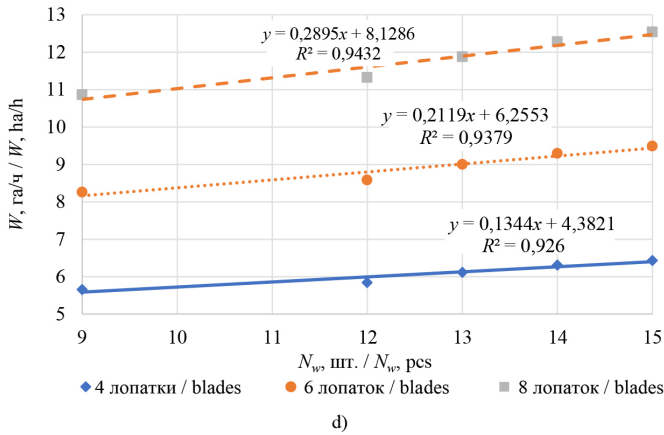
Р и с. 9. Зависимость производительности от количества волн на волнистом диске при $\vartheta = 18 \text{ км/ч}$, $L_1 = 0,2565 \text{ м}$:
 с) $D_{w.d} = 0,508 \text{ м}$; д) $D_{w.d} = 0,545 \text{ м}$; е) $D_{w.d} = 0,559 \text{ м}$

F i g. 9. The dependence of cultivator performance on the number of waves on a wave disk at $\vartheta = 18 \text{ km/h}$, $L_1 = 0.2565 \text{ m}$:
 с) $D_{w.d} = 0.508 \text{ m}$; д) $D_{w.d} = 0.545 \text{ m}$; е) $D_{w.d} = 0.559 \text{ m}$



Р и с. 10. Зависимость производительности от количества волн на волнистом диске при $\vartheta = 18$ км/ч, $L_1 = 0,3195$ м:
 а) $D_{wd} = 0,343$ м; б) $D_{wd} = 0,46$ м; в) $D_{wd} = 0,508$ м

F i g. 10. The dependence of cultivator performance on the number of waves on a wave disk at $\vartheta = 18$ km/h,
 $L_1 = 0.3195$ m: а) $D_{wd} = 0.343$ m; б) $D_{wd} = 0.46$ m; в) $D_{wd} = 0.508$ m



Р и с. 10. Зависимость производительности от количества волн на волнистом диске при $\vartheta_m = 18$ км/ч, $L_1 = 0,3195$ м:

д) $D_{wd} = 0,545$ м; е) $D_{wd} = 0,559$ м

F i g. 10. The dependence of cultivator performance on the number of waves on a wave disk at $\vartheta_m = 18$ км/ч,

д) $D_{wd} = 0,545$ м; е) $D_{wd} = 0,559$ м

Достоверность полученных зависимостей проверяли по критерию Кохрена. Результаты приведены в таблицах 1 и 2.

Т а б л и ц а 1

T a b l e 1

Результаты проверки зависимостей по критерию Кохрена ($\vartheta_m = 18$ км/ч, $L_1 = 0,2565$ м)

The results of checking the dependences according the Cochran's criterion ($\vartheta_m = 18$ км/ч, $L_1 = 0.2565$ м)

Количество лопаток, шт. / Number of blades, pcs	Расчетное значение Кохрена при диаметре волнистого диска D_{wd} / Calculated Cochran value for the diameter of a wave disk D_{wd}					$G_{\text{табл}} / G_{\text{table}}$
	0,343 м / м	0,460 м / м	0,508 м / м	0,545 м / м	0,559 м / м	
4	0,4516	0,4122	0,2615	0,2640	0,2646	0,8412
6	0,2445	0,2369	0,2361	0,2348	0,2351	0,8412
8	0,5237	0,5037	0,3654	0,5057	0,5061	0,8412

Т а б л и ц а 2

Table 2

Результаты проверки зависимостей по критерию Кохрена $\vartheta_m = 18$ км/ч, $L_1 = 0,3195$ м

The results of checking the dependences according the Cochran's criterion
($\vartheta_m = 18$ km/h, $L_1 = 0.3195$ m)

Количество лопаток, шт. / Number of blades, pcs	Расчетное значение Кохрена при диаметре волнистого диска $D_{w.d}$ / Calculated Cochran value for the diameter of a wave disk $D_{w.d}$					$G_{\text{табл}} / G_{\text{table}}$
	0,343 м / м	0,460 м / м	0,508 м / м	0,545 м / м	0,559 м / м	
4	0,1309	0,7795	0,4238	0,4563	0,4549	0,8412
6	0,2257	0,2493	0,2487	0,2478	0,2224	0,8412
8	0,4668	0,3311	0,6738	0,6814	0,6849	0,8412

Гипотеза об однородности дисперсий подтверждена. Результаты моделирования приведены в таблицах 3–22.

Т а б л и ц а 3

Table 3

Результаты моделирования экспериментального МТА при $D_{w.d} = 0,343$

($\vartheta_m = 15$ км/ч, $L_1 = 0,2565$ м)

The results of simulating an experimental machine-tractor unit at $D_{w.d} = 0.343$ m

($\vartheta_m = 15$ km/h, $L_1 = 0.2565$ m)

Наименование параметра / Name of the parameter	Значение параметров / The value of the parameters				
Диаметр волнистого диска $D_{w.d}$, м / Diameter of the wave disk $D_{w.d}$, m	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343
Количество волнистых дисков $k_{w.d}$, шт. / Number of wave discs $k_{w.d}$, pcs	4	4	4	4	4
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	4	4	4	4	4
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	3,720	3,86	4,04	4,17	4,26
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	6	6	6	6	6
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	5,460	5,69	5,97	6,17	6,30
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	8	8	8	8	8
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	7,20	7,52	7,89	8,16	8,34

Таблица 4

Table 4

Результаты моделирования экспериментального МТА при $D_{w.d} = 0,460$ м
($Q_m = 15$ км/ч, $L_1 = 0,2565$ м)
The results of simulating an experimental machine-tractor unit at $D_{w.d} = 0.460$ m
($Q_m = 15$ km/h, $L_1 = 0.2565$ m)

Наименование параметра / Name of the parameter	Значение параметров / The value of the parameters				
Диаметр волнистого диска $D_{w.d}$, м / Diameter of the wave disk $D_{w.d}$, m	0,460	0,460	0,460	0,460	0,460
Количество волнистых дисков $k_{w.d}$, шт. / Number of wave discs $k_{w.d}$, pcs	4	4	4	4	4
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	4	4	4	4	4
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	3,80	3,92	4,11	4,24	4,32
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	6	6	6	6	6
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	5,54	5,76	6,03	6,23	6,36
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	8	8	8	8	8
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	7,28	7,59	7,96	8,23	8,40

Таблица 5

Table 5

Результаты моделирования экспериментального МТА при $D_{w.d} = 0,508$ м
($Q_m = 15$ км/ч, $L_1 = 0,2565$ м)
The results of simulating an experimental machine-tractor unit at $D_{w.d} = 0.508$ m
($Q_m = 15$ km/h, $L_1 = 0.2565$ m)

Наименование параметра / Name of the parameter	Значение параметров / The value of the parameters				
Диаметр волнистого диска $D_{w.d}$, м / Diameter of the wave disk $D_{w.d}$, m	0,508	0,508	0,508	0,508	0,508
Количество волнистых дисков $k_{w.d}$, шт. / Number of wave discs $k_{w.d}$, pcs	4	4	4	4	4
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	4	4	4	4	4
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	3,84	3,95	4,13	4,26	4,34
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	6	6	6	6	6
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	5,58	5,78	6,06	6,26	6,38
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	8	8	8	8	8
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	7,32	7,62	7,98	8,25	8,43

Т а б л и ц а 6

Table 6

Результаты моделирования экспериментального МТА при $D_{w.d} = 0,545$ м
($Q_m = 15$ км/ч, $L_1 = 0,2565$ м)
The results of simulating an experimental machine-tractor unit at $D_{w.d} = 0.545$ m
($Q_m = 15$ km/h, $L_1 = 0.2565$ m)

Наименование параметра / Name of the parameter	Значение параметров / The value of the parameters				
Диаметр волнистого диска $D_{w.d}$, м / Diameter of the wave disk $D_{w.d}$, m	0,545	0,545	0,545	0,545	0,545
Количество волнистых дисков $k_{w.d}$, шт. / Number of wave discs $k_{w.d}$, pcs	4	4	4	4	4
Количество лопаток на игольчатом диске $k_{s.b}$, шт. / Number of blades per a needle disc, $k_{s.b}$, pcs	4	4	4	4	4
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	3,86	3,97	4,15	4,28	4,36
Количество лопаток на игольчатом диске $k_{s.b}$, шт. / Number of blades per a needle disc, $k_{s.b}$, pcs	6	6	6	6	6
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	5,60	5,81	6,08	6,28	6,40
Количество лопаток на игольчатом диске $k_{s.b}$, шт. / Number of blades per a needle disc, $k_{s.b}$, pcs	8	8	8	8	8
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	7,34	7,64	8,00	8,27	8,44

Т а б л и ц а 7

Table 7

Результаты моделирования экспериментального МТА при $D_{w.d} = 0,559$ м
($Q_m = 15$ км/ч, $L_1 = 0,2565$ м)
The results of simulating an experimental machine-tractor unit at $D_{w.d} = 0.559$ m
($Q_m = 15$ km/h, $L_1 = 0.2565$ m)

Наименование параметра / Name of the parameter	Значение параметров / The value of the parameters				
Диаметр волнистого диска $D_{w.d}$, м / Diameter of the wave disk $D_{w.d}$, m	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559
Количество волнистых дисков $k_{w.d}$, шт. / Number of wave discs $k_{w.d}$, pcs	4	4	4	4	4
Количество лопаток на игольчатом диске $k_{s.b}$, шт. / Number of blades per needle disc, $k_{s.b}$, pcs	4	4	4	4	4
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	3,87	3,98	4,16	4,29	4,37
Количество лопаток на игольчатом диске $k_{s.b}$, шт. / Number of blades per a needle disc, $k_{s.b}$, pcs	6	6	6	6	6
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	5,61	5,81	6,09	6,28	6,41
Количество лопаток на игольчатом диске $k_{s.b}$, шт. / Number of blades per a needle disc, $k_{s.b}$, pcs	8	8	8	8	8
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	7,35	7,65	8,01	8,28	8,45

Таблица 8

Table 8

Результаты моделирования экспериментального МТА при $D_{w.d} = 0,343$ м
при ($\vartheta_m = 15$ км/ч, $L_1 = 0,3195$ м)
The results of simulating an experimental machine-tractor unit at $D_{w.d} = 0.343$ m
($\vartheta_m = 15$ km/h, $L_1 = 0.3195$ m)

Наименование параметра / Name of the parameter	Значение параметров / The value of the parameters				
Диаметр волнистого диска $D_{w.d}$, м / Diameter of the wave disk $D_{w.d}$, m	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343
Количество волнистых дисков $k_{w.d}$, шт. / Number of the wave discs $k_{w.d}$, pcs	4	4	4	4	4
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	4	4	4	4	4
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	4,58	4,76	4,99	5,15	5,26
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	6	6	6	6	6
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	6,74	7,04	7,39	7,64	7,80
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	8	8	8	8	8
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	8,91	9,32	9,78	10,12	10,35

Таблица 9

Table 9

Результаты моделирования экспериментального МТА при $D_{w.d} = 0,460$ м
при ($\vartheta_m = 15$ км/ч, $L_1 = 0,3195$ м)
The results of simulating an experimental machine-tractor unit at $D_{w.d} = 0.460$ m
($\vartheta_m = 15$ km/h, $L_1 = 0.3195$ m)

Наименование параметра / Name of the parameter	Значение параметров / The value of the parameters				
Диаметр волнистого диска $D_{w.d}$, м / Diameter of the wave disk $D_{w.d}$, m	0,460	0,460	0,460	0,460	0,460
Количество волнистых дисков $k_{w.d}$, шт. / Number of the wave discs $k_{w.d}$, pcs	4	4	4	4	4
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	4	4	4	4	4
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	4,66	4,83	5,05	5,22	5,32
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	6	6	6	6	6
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	6,82	7,11	7,45	7,70	7,86
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	8	8	8	8	8
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	8,99	9,39	9,85	10,19	10,41

**Результаты моделирования экспериментального МТА при $D_{w.d} = 0,508$ м
при ($\vartheta_m = 15$ км/ч, $L_1 = 0,3195$ м)**
**The results of simulating of an experimental machine-tractor unit at $D_{w.d} = 0.508$ m
($\vartheta_m = 15$ km/h, $L_1 = 0.3195$ m)**

Наименование параметра / Name of the parameter	Значение параметров / The value of the parameters				
Диаметр волнистого диска $D_{w.d}$, м / Diameter of the wave disk $D_{w.d}$, m	0,508	0,508	0,508	0,508	0,508
Количество волнистых дисков $k_{w.d}$, шт. / Number of the wave discs $k_{w.d}$, pcs	4	4	4	4	4
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc k_{sb} , pcs	4	4	4	4	4
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	4,69	4,85	5,08	5,24	5,35
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc k_{sb} , pcs	6	6	6	6	6
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	6,86	7,13	7,48	7,73	7,89
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	8	8	8	8	8
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	9,03	9,42	9,88	10,21	10,43

**Результаты моделирования экспериментального МТА при $D_{w.d} = 0,545$ м
при ($\vartheta_m = 15$ км/ч, $L_1 = 0,3195$ м)**
**The results of simulating an experimental machine-tractor unit at $D_{w.d} = 0.545$ m
($\vartheta_m = 15$ km/h, $L_1 = 0.3195$ m)**

Наименование параметра / Name of the parameter	Значение параметров / The value of the parameters				
Диаметр волнистого диска $D_{w.d}$, м / Diameter of the wave disk $D_{w.d}$, m	0,545	0,545	0,545	0,545	0,545
Количество волнистых дисков $k_{w.d}$, шт. / Number of the wave discs $k_{w.d}$, pcs	4	4	4	4	4
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	4	4	4	4	4
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	4,72	4,87	5,10	5,26	5,36
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	6	6	6	6	6
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	6,88	7,16	7,50	7,75	7,91
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	8	8	8	8	8
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	9,05	9,44	9,90	10,23	10,45

Таблица 12

Table 12

Результаты моделирования экспериментального МТА при $D_{w.d} = 0,559$ м
при ($\mathcal{Q}_m = 15$ км/ч, $L_1 = 0,3195$ м)
The results of simulating an experimental machine-tractor unit at $D_{w.d} = 0.559$ m
($\mathcal{Q}_m = 15$ km/h, $L_1 = 0.3195$ m)

Наименование параметра / Name of the parameter	Значение параметров / The value of the parameters				
Диаметр волнистого диска $D_{w.d}$, м / Diameter of the wave disk $D_{w.d}$, m	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559
Количество волнистых дисков $k_{w.d}$, шт. / Number of the wave discs $k_{w.d}$, pcs	4	4	4	4	4
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	4	4	4	4	4
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	4,73	4,88	5,11	5,27	5,37
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	6	6	6	6	6
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	6,89	7,16	7,51	7,75	7,91
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	8	8	8	8	8
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	9,06	9,45	9,90	10,24	10,46

Таблица 13

Table 13

Результаты моделирования экспериментального МТА при $D_{w.d} = 0,343$ м
при ($\mathcal{Q}_m = 18$ км/ч, $L_1 = 0,2565$ м)
The results of simulating an experimental machine-tractor unit at $D_{w.d} = 0.343$ m
($\mathcal{Q}_m = 18$ km/h, $L_1 = 0.2565$ m)

Наименование параметра / Name of the parameter	Значение параметров / The value of the parameters				
Диаметр волнистого диска $D_{w.d}$, м / Diameter of the wave disk $D_{w.d}$, m	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343
Количество волнистых дисков $k_{w.d}$, шт. / Number of wave discs $k_{w.d}$, pcs	4	4	4	4	4
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	4	4	4	4	4
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	4,46	4,63	4,85	5,01	5,11
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	6	6	6	6	6
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	6,55	6,83	7,16	7,40	7,56
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	8	8	8	8	8
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	8,64	9,03	9,47	9,80	10,01

Т а б л и ц а 14

T a b l e 14

**Результаты моделирования экспериментального МТА при $D_{w.d} = 0,460$ м
при ($\vartheta_m = 18$ км/ч, $L_1 = 0,2565$ м)**
**The results of simulating an experimental machine-tractor unit at $D_{w.d} = 0.460$ m
($\vartheta_m = 18$ km/h, $L_1 = 0.2565$ m)**

Наименование параметра / Name of the parameter	Значение параметров / The value of the parameters				
Диаметр волнистого диска $D_{w.d}$, м / Diameter of the wave disk $D_{w.d}$, m	0,460	0,460	0,460	0,460	0,460
Количество волнистых дисков $k_{w.d}$, шт. / Number of wave discs $k_{w.d}$, pcs	4	4	4	4	4
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	4	4	4	4	4
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	4,56	4,71	4,93	5,08	5,18
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	6	6	6	6	6
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	6,65	6,91	7,24	7,48	7,63
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	8	8	8	8	8
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	8,74	9,11	9,55	9,87	10,08

Т а б л и ц а 15

T a b l e 15

**Результаты моделирования экспериментального МТА при $D_{w.d} = 0,508$ м
при ($\vartheta_m = 18$ км/ч, $L_1 = 0,2565$ м)**
**The results of simulating an experimental machine-tractor unit at $D_{w.d} = 0.508$ m
($\vartheta_m = 18$ km/h, $L_1 = 0.2565$ m)**

Наименование параметра / Name of the parameter	Значение параметров / The value of the parameters				
Диаметр волнистого диска $D_{w.d}$, м / Diameter of the wave disk $D_{w.d}$, m	0,508	0,508	0,508	0,508	0,508
Количество волнистых дисков $k_{w.d}$, шт. / Number of wave discs $k_{w.d}$, pcs	4	4	4	4	4
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	4	4	4	4	4
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	4,60	4,74	4,96	5,11	5,21
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	6	6	6	6	6
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	6,69	6,94	7,27	7,51	7,66
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	8	8	8	8	8
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	8,78	9,14	9,58	9,90	10,11

Таблица 16

Table 16

**Результаты моделирования экспериментального МТА при $D_{w.d} = 0,545$ м
 при ($\vartheta_m = 18$ км/ч, $L_1 = 0,2565$ м)**
**The results of simulating an experimental machine-tractor unit at $D_{w.d} = 0.545$ m
 ($\vartheta_m = 18$ km/h, $L_1 = 0.2565$ m)**

Наименование параметра / Name of the parameter	Значение параметров / The value of the parameters				
Диаметр волнистого диска $D_{w.d}$, м / Diameter of the wave disk $D_{w.d}$, m	0,545	0,545	0,545	0,545	0,545
Количество волнистых дисков $k_{w.d}$, шт. / Number of wave discs $k_{w.d}$, pcs	4	4	4	4	4
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	4	4	4	4	4
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	4,64	4,77	4,98	5,14	5,23
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	6	6	6	6	6
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	6,72	6,97	7,29	7,53	7,68
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	8	8	8	8	8
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	8,81	9,17	9,61	9,93	10,13

Таблица 17

Table 17

**Результаты моделирования экспериментального МТА при $D_{w.d} = 0,559$ м
 при ($\vartheta_m = 18$ км/ч, $L_1 = 0,2565$ м)**
**The results of simulating an experimental machine-tractor unit at $D_{w.d} = 0.559$ m
 ($\vartheta_m = 18$ km/h, $L_1 = 0.2565$ m)**

Наименование параметра / Name of the parameter	Значение параметров / The value of the parameters				
Диаметр волнистого диска $D_{w.d}$, м / Diameter of the wave disk $D_{w.d}$, m	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559
Количество волнистых дисков $k_{w.d}$, шт. / Number of wave discs $k_{w.d}$, pcs	4	4	4	4	4
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	4	4	4	4	4
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	4,65	4,78	4,99	5,15	5,24
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	6	6	6	6	6
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	6,73	6,98	7,30	7,54	7,69
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	8	8	8	8	8
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	8,82	9,17	9,61	9,93	10,14

**Результаты моделирования экспериментального МТА при $D_{w.d} = 0,343$ м
при ($\vartheta_m = 18$ км/ч, $L_1 = 0,3195$ м)**
**The results of simulating an experimental machine-tractor unit at $D_{w.d} = 0.343$ m
($\vartheta_m = 18$ km/h, $L_1 = 0.3195$ m)**

Наименование параметра / Name of the parameter	Значение параметров / The value of the parameters				
Диаметр волнистого диска $D_{w.d}$, м / Diameter of the wave disk $D_{w.d}$, m	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343
Количество волнистых дисков $k_{w.d}$, шт. / Number of wave discs $k_{w.d}$, pcs	4	4	4	4	4
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	4	4	4	4	4
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	5,49	5,71	5,98	6,18	6,31
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	6	6	6	6	6
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	8,09	8,45	8,86	9,17	9,36
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	8	8	8	8	8
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	10,69	11,19	11,74	12,15	12,42

**Результаты моделирования экспериментального МТА при $D_{w.d} = 0,460$ м
при ($\vartheta_m = 18$ км/ч, $L_1 = 0,3195$ м)**
**The results of simulating an experimental machine-tractor unit at $D_{w.d} = 0.460$ m
($\vartheta_m = 18$ km/h, $L_1 = 0.3195$ m)**

Наименование параметра / Name of the parameter	Значение параметров / The value of the parameters				
Диаметр волнистого диска $D_{w.d}$, м / Diameter of the wave disk $D_{w.d}$, m	0,460	0,460	0,460	0,460	0,460
Количество волнистых дисков $k_{w.d}$, шт. / Number of wave discs $k_{w.d}$, pcs	4	4	4	4	4
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	4	4	4	4	4
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	5,59	5,79	6,06	6,26	6,39
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	6	6	6	6	6
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	8,19	8,53	8,94	9,24	9,44
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	8	8	8	8	8
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	10,79	11,27	11,82	12,22	12,49

Таблица 20

Table 20

**Результаты моделирования экспериментального МТА при $D_{w.d} = 0,508$ м
 при $(\vartheta_m = 18$ км/ч, $L_1 = 0,3195$ м)**
**The results of simulating an experimental machine-tractor unit at $D_{w.d} = 0.508$ m
 ($\vartheta_m = 18$ km/h, $L_1 = 0.3195$ m)**

Наименование параметра / Name of the parameter	Значение параметров / The value of the parameters				
Диаметр волнистого диска $D_{w.d}$, м / Diameter of the wave disk $D_{w.d}$, m	0,508	0,508	0,508	0,508	0,508
Количество волнистых дисков $k_{w.d}$, шт. / Number of wave discs $k_{w.d}$, pcs	4	4	4	4	4
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	4	4	4	4	4
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	5,63	5,82	6,09	6,29	6,41
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	6	6	6	6	6
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	8,23	8,56	8,97	9,27	9,47
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	8	8	8	8	8
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	10,83	11,30	11,85	12,25	12,52

Таблица 21

Table 21

**Результаты моделирования экспериментального МТА
 при $D_{w.d} = 0,545$ м при $(\vartheta_m = 18$ км/ч, $L_1 = 0,3195$ м)**
**The results of simulating an experimental machine-tractor unit at $D_{w.d} = 0.545$ m
 ($\vartheta_m = 18$ km/h, $L_1 = 0.3195$ m)**

Наименование параметра / Name of the parameter	Значение параметров / The value of the parameters				
Диаметр волнистого диска $D_{w.d}$, м / Diameter of the wave disk $D_{w.d}$, m	0,545	0,545	0,545	0,545	0,545
Количество волнистых дисков $k_{w.d}$, шт. / Number of wave discs $k_{w.d}$, pcs	4	4	4	4	4
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	4	4	4	4	4
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	5,66	5,85	6,12	6,31	6,44
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	6	6	6	6	6
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	8,26	8,59	9,00	9,30	9,49
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	8	8	8	8	8
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	10,86	11,33	11,87	12,28	12,54

**Результаты моделирования экспериментального МТА при $D_{w.d} = 0,559$ м
при ($\vartheta_m = 18$ км/ч, $L_1 = 0,3195$ м)**
**The results of simulating an experimental machine-tractor unit at $D_{w.d} = 0.559$ m
($\vartheta_m = 18$ km/h, $L_1 = 0.3195$ m)**

Наименование параметра / Name of the parameter	Значение параметров / The value of the parameters				
	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559
Диаметр волнистого диска $D_{w.d}$, м / Diameter of the wave disk $D_{w.d}$, m	0,559	0,559	0,559	0,559	0,559
Количество волнистых дисков $k_{w.d}$, шт. / Number of wave discs $k_{w.d}$, pcs	4	4	4	4	4
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per needle disc, k_{sb} , pcs	4	4	4	4	4
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	5,67	5,86	6,13	6,32	6,45
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	6	6	6	6	6
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	8,27	8,60	9,01	9,30	9,50
Количество лопаток на игольчатом диске k_{sb} , шт. / Number of blades per a needle disc, k_{sb} , pcs	8	8	8	8	8
Производительность ТДК, га/ч / Performance of the turbo disc cultivator (W), ha/h	10,87	11,34	11,88	12,29	12,55

При скорости движения 15 км/ч и длине иглы с лопаткой $L_1 = 0,2565$ м производительность ТДК повышается. Увеличение количества лопаток приводит к росту производительности с 3,72 до 8,34 га/ч (в 2,242 раз). При росте диаметра волнистого диска $D_{w.d} = 0,343-0,559$ м и количества лопаток ($k_{sb} = 4-8$ шт.) производительность практически остается неизменной (3,72–8,45 га/ч).

В целом производительность повышается с 4,58 до 10,46 га/ч с ростом количества лопаток на игольчатом диске. При увеличении иглы с лопаткой с 0,2565 до 0,3195 м и скорости движения агрегата 15 км/ч $W = 3,72-10,46$ га/ч, т. е. ТДК становится производительнее в 2,812 раза.

Развитие скорости движения агрегата до 18 км/ч и изменение диаметра волнистого диска с 0,343 до 0,559 м при длине лопатки 0,2565 м повышает производительность с 4,46 до 10,14 га/ч, т. е. в 2,274 раз. При той же скорости движения и длине лопатки 0,3195 м производительность ТДК увеличивается с 5,49 до 12,55 га/ч (в 2,286 раз) при росте диаметра волнистого диска. При этом, если длина иглы с лопаткой $L_1 = 0,2565-0,3195$ м производительность повышается с 4,46 до 12,55 га/ч, т. е. в 2,814 раз.

Таким образом, увеличение скорости движения агрегата с 15 до 18 км/ч и длины иглы с лопаткой приводит к повышению производительности с 3,72 до 12,55 га/ч, т. е. в 3,374 раз (таблицы 3–12).

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного моделирования процесса ВОП путем варьирования скорости движения машинно-тракторного агрегата, который состоит из разработанного турбодискового культиватора и энергетического средства, длины

иглы с лопаткой, диаметра волнистого диска, производительность ТДК повысилась с 3,72 до 12,55 га/ч, что также возможно при увеличении количества волнистых дисков и лопаток на игольчатом диске. Сопоставив эти данные со средними значениями производительности, выведенными в других исследованиях, выявлено расхождение на 6,8 % [27]. Так, при движении агромашины со скоростью 15 км/ч и длине игл 0,257–0,320 м производительность составляет: при 4 лопатках – 3,72–5,37 га/ч; при 6 лопатках – 5,46–7,91 га/ч; при 8 лопатках – 7,20–10,46 га/ч. При дальнейшем увеличении скорости до 18 км/ч производительность увеличивается: с 4,46 до 6,45 га/ч с 4 лопатками; с 6,55 до 9,50 га/ч с 6 лопатками; с 8,64 до 12,55 га/ч с 8 лопатками.

Предложенная блок-схема алгоритма позволяет оптимизировать производительность турбодискового культиватора в зависимости от конструктивных параметров дисковых рабочих органов, эксплуатационных его показателей.

К ограничениям исследования можно отнести недостаточную информационную оснащенность о конструкциях ТДК для ВОП, а также о конструктивных параметрах их рабочих органов, что затрудняет оценку производительности. Вследствие этого необходимо проводить сравнение с культиваторами для мелкой и поверхностной обработки почвы.

Практической значимостью исследования является теоретическое обоснование рациональной производительности турбодискового культиватора для вертикальной обработки почвы, а также блок-схема алгоритма, которая позволяет выбрать оптимальную производительность турбодискового культиватора при различных режимных показателях и конструктивных параметрах рабочих органов.

Перспективой исследования является разработка и поиск новых технических решений для модернизации конструкций рабочих органов ТДК с целью повышения его производительности при снижении энергоемкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Припоров И.Е., Курасов В.С., Бацунов В.И. Анализ технических характеристик турбодисковых культиваторов для вертикальной обработки почвы. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2025;(2):100–105. URL: <https://orensau.ru/ru/nauka/izvestiya-orenburgskogo-gau> (дата обращения: 14.04.2025).
2. Редеев Г.В., Щетинина С.Н. К вопросу об исследовании технических характеристик почвообрабатывающих агрегатов. *Вестник Омского ГАУ*. 2012;(1):71–74. <https://elibrary.ru/synqhb>
3. Припоров И.Е., Курасов В.С., Бацунов В.И. Кинематика игольчатого диска с лопатками в турбодисковом культиваторе при измельчении растительных остатков. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2024;(3):215–222. URL: <https://vestnik.ulsau.ru/1123> (дата обращения: 19.04.2025).
4. Борисенко И.Б., Скрипкин Д.В., Мезникова М.В., Тимошенко В.В., Элбакян А.Ж. Катковый измельчитель пожнивных остатков высокостебельных сельскохозяйственных культур. *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2022;(2):329–339. URL: <https://www.volgau.com/izvestiya> (дата обращения: 22.04.2025).
5. Козлов Н.С. Обзор и анализ конструкций рабочих органов почвообрабатывающих агрегатов для измельчения растительных остатков. *Вестник Белорусской ГСХА*. 2017;(1):123–125. URL: <https://baa.by/vestnik/> (дата обращения: 24.04.2025).

6. Zeng Z., Chen Y. Performance Evaluation of Futed Coulters and Rippled Discs for Vertical Tillage. *Soil and Tillage Research*. 2018;(183):93–99. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.06.003>
7. Соболевский И.В. Бионическое обоснование конструкции почвообрабатывающих рабочих органов дисковой бороны. *Известия сельскохозяйственной науки Тавриды*. 2019;(19):73–84. <https://www.elibrary.ru/aizmod>
8. Chirende B., Li J., Wen LG., Simalenga T. Effects of Bionic Non-Smooth Surface on Reducing Soil Resistance to Disc Ploughing. *Science China Technological Sciences*. 2010;(53):2960–2965. <https://doi.org/10.1007/s11431-010-4128-8>
9. Zhilyakov A.L., Kozlov V.G., Skuryatin N.F., Bulygin N.N., Brovchenko A.D., Shwarz A.A. Mathematical Prerequisites for Improving the Method of Sowing Crops on Sloping Lands. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Zernograd: IOP Publishing Ltd; 2021. Article no. 012075. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/659/1/012075>
10. Gao Y., Shen X., Li X., Meng Z., Sun J., Duan A. Effects of pre-Sowing Irrigation on Crop Water Consumption, Grain Yield and Water Productivity of Winter Wheat in the North China Plain. *Irrigation and Drainage*. 2015;64(4):566–574. <https://doi.org/10.1002/ird.1927>
11. Абдусаламова Р.Р., Баламирзоева З.М. Методы защиты почвы от водной и ветровой эрозии. *Вестник Социально-педагогического института*. 2021;(4):30–40. URL: <https://spi-vuz.ru/vestnik-spi.html> (дата обращения: 24.04.2025).
12. Polushkin O.A., Ignatenko V.I., Ignatenko I.V., Vyalikov I.L., Bogdanovich V.P. Dynamic Models of Cultivator Spring Tine Performance. In: MATEC Web of Conferences. Rostov-on-Don: EDP Sciences; 2018. Article no. 01016. <https://www.elibrary.ru/jycdhw>
13. Bulgakov V., Kaletnik H., Goncharuk T. Research of the Movement of Agricultural Aggregates Using the Methods of the Movement Stability Theory. *Agronomy Research*. 2019;17(5):1846–1860. <https://doi.org/10.15159/AR.19.189>
14. Dahab M.H., Kheiry A.N.O., Numan M.H. Developed and Field Performance Evaluation of a Combined Cultivator. *Journal of Agronomy Research*. 2021;4(2):12–19. <https://doi.org/10.14302/issn.2639-3166.jar-21-3872>
15. Ju., Rantung R., Kalesaran L. Kajian Penggunaan Cultivator Tipe Motoyama MTE 70NL Untuk Pengolahan Tanah Di Lahan Kelompok Tani Syalom DESA Pinasungkulan Kecamatan Modinding. *COCOS*. 2023;15(2). <https://doi.org/10.35791/cocos.v15i2.47195>
16. Kumar A.A., Anil Kumar C., Chakrapani V., Rajesh D., Seshagiri Rao N. Development and Evaluation of Multifunctional Tillage Implement. *Current Journal of Applied Science and Technology*. 2022;41(30):46–56. <https://doi.org/10.9734/cjast/2022/v41i3031807>
17. Veselovska N.R., Shargorodskiy S.A., Burlaka S.A. Mathematical Modeling of the Interaction of the Arrow Leg of the Cultivator with the Soil. *Vibrations in Engineering and Technology*. 2023;(1):57–62. <https://doi.org/10.37128/2306-8744-2023-1-6>
18. Wang M., Fu Z., Zheng Zh., Huang Y., Wei W. Effect of Performance of Soil Cultivator with Different Surface Textures of Shovel Wing. *Agriculture*. 2021;(11):1039. <https://doi.org/10.3390/agriculture11111039>
19. Baek S.-Yu., Kim W.-S., Baek S.-M., Jeon H.-H., Lee J.-H., Lee D.-H. и др. Performance Simulation of an Electric Multipurpose Cultivator According to Rotary Tillage. *Korean Journal of Agricultural Science*. 2021;48(4):1027–1037. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20210087>
20. Сыромятников Ю.Н. Исследование процесса работы экспериментального культиватора для сплошной обработки почвы. *Аэкономика: экономика и сельское хозяйство*. 2018;(4):4. <https://elibrary.ru/rraibt>
21. Lee S.-H., Kim T.-H., Shin So.-Y., Jang S.-H., Choi S.-R. Vibration Characteristics and Performance Analysis of Knapsack Type Weeding Cultivator According to Shape and Width of Blade. *Journal of Agriculture & Life Science*. 2021;55(6):83–90. <https://doi.org/10.14397/jals.2021.55.6.83>
22. Валиев А.Р. Исследование качественных показателей работы культиватора с парнодисковыми рабочими органами. *Техника и оборудование для села*. 2017;(4):24–29. <https://elibrary.ru/yqgaud>

23. Валиев А.Р. Исследование процесса движения почвы по рабочей поверхности дискового культиватора. *Вестник Казанского ГАУ*. 2017;12(3):54–60. https://doi.org/10.12737/article_5a1d9587a0d852.23012684
24. Behera A., Raheman H., Thomas E.V. Comparative Study on Tillage Performance of Rota-Cultivator (a Passive – Active Combination Tillage Implement) with Rotavator (an Active Tillage Implement). *Soil & Tillage Research*. 2021;207. Article no. 104861. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104861>
25. Hosseini H., Farzad A., Majeed F. Multi-Objective Optimal Design and Development of a Four-Bar Mechanism for Weed Control. *Machines*. 2022;10(3):198. <https://doi.org/10.3390/machines10030198>
26. Припоров И.Е., Курасов В.С., Бацунов В.И. Разрушение стерни подсолнечника лопатками игольчатого диска инновационного турбодискового культиватора. *Инженерные технологии и системы*. 2025;35(4):750–769. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.035.202504.750-769>
27. Кузычченко Ю.А. Технологический показатель работы культиваторов в зоне Предкавказья. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2024;(2):94–97. <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2024-106-2-94-97>

REFERENCES

1. Priporov I.E., Kurasov V.S., Batsunov V.I. Analysis of Technical Characteristics of Turbo-Disc Cultivators for Vertical Tillage. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2025;(2):100–105. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <https://orensau.ru/ru/nauka/izvestiya-orenburgskogo-gau> (accessed 14.04.2025).
2. Redreev G.V., Shhetinina S.N. On the Question of Technical Characteristics of the Study Soil Cultivating Units. *Vestnik of Omsk SAU*. 2012;(1):71–74. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/synqhb>
3. Priporov I.E., Kurasov V.S., Batsunov V.I. Kinematics of a Needle Disk with Blades in a Turbo-Disc Cultivator When Crushing Plant Residues. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2024;(3):215–222. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <https://vestnik.ulsau.ru/1123> (accessed 19.04.2025).
4. Borisenko I.B., Skripkin D.V., Meznikova M.V. Timoshenko V.V., Elbakyan A.J. Roller Shredder for Stubble Residues of High-Stemmed Crops. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*. 2022;(2):329–339. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <https://www.volgau.com/izvestiya> (accessed 22.04.2025).
5. Kozlov N.S. [Review and Analysis of Structures of Working Bodies of Tillage Units for Crushing Plant Residues]. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2017;(1):123–125. (In Russ.) Available at: <https://baa.by/vestnik/> (accessed 24.04.2025).
6. Zeng Z., Chen Y. Performance Evaluation of Futed Coulters and Rippled Discs for Vertical Tillage. *Soil and Tillage Research*. 2018;(183):93–99. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.06.003>
7. Sobolevsky I.V. Bionic Substantiation of the Design of the Soil Processing Working Bodies of the Disk Harrow. *Transactions of Taurida Agricultural Science*. 2019;(19):73–84. (In Russ., abstract in Eng.) <https://www.elibrary.ru/aizmzd>
8. Chirende B., Li J., Wen LG., Simalenga T. Effects of Bionic Non-Smooth Surface on Reducing Soil Resistance to Disc Ploughing. *Science China Technological Sciences*. 2010;(53):2960–2965. <https://doi.org/10.1007/s11431-010-4128-8>
9. Zhilyakov A.L., Kozlov V.G., Skuryatin N.F., Bulygin N.N., Brovchenko A.D., Shwarz A.A. Mathematical Prerequisites for Improving the Method of Sowing Crops on Sloping Lands. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Zernograd: IOP Publishing Ltd; 2021. Article no. 012075. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/659/1/012075>
10. Gao Y., Shen X., Li X., Meng Z., Sun J., Duan A. Effects of pre-Sowing Irrigation on Crop Water Consumption, Grain Yield and Water Productivity of Winter Wheat in the North China Plain. *Irrigation and Drainage*. 2015;64(4):566–574. <https://doi.org/10.1002/ird.1927>
11. Abdusalamova R.R., Balamirzoeva Z.M. Methods of Soil Protection from Water and Erosion. *Vestnik Social'no-Pedagogicheskogo Instituta*. 2021;(4):30–40. (In Russ., abstract in Eng.) Available at: <https://spi-vuz.ru/vestnik-spi.html> (accessed 24.04.2025).

12. Polushkin O.A., Ignatenko V.I., Ignatenko I.V., Vyalikov I.L., Bogdanovich V.P. Dynamic Models of Cultivator Spring Tine Performance. In: MATEC Web of Conferences. Rostov-on-Don: EDP Sciences; 2018. Article no. 01016. <https://www.elibrary.ru/jycdhw>
13. Bulgakov V., Kaletnik H., Goncharuk T. Research of the Movement of Agricultural Aggregates Using the Methods of the Movement Stability Theory. *Agronomy Research*. 2019;17(5):1846–1860. <https://doi.org/10.15159/AR.19.189>
14. Dahab M.H., Kheiry A.N.O., Numan M.H. Developed and Field Performance Evaluation of a Combined Cultivator. *Journal of Agronomy Research*. 2021;4(2):12–19. <https://doi.org/10.14302/issn.2639-3166.jar-21-3872>
15. Ju., Rantung R., Kalesaran L. Kajian Penggunaan Cultivator Tipe Motoyama MTE 70NL Untuk Pengolahan Tanah Di Lahan Kelompok Tani Syalom DESA Pinasungkulan Kecamatan Modinding. *COCOS*. 2023;15(2). <https://doi.org/DOI 10.35791/cocos.v15i2.47195>
16. Kumar A.A., Anil Kumar C., Chakrapani V., Rajesh D., Seshagiri Rao N. Development and Evaluation of Multifunctional Tillage Implement. *Current Journal of Applied Science and Technology*. 2022;41(30):46–56. <https://doi.org/10.9734/cjast/2022/v41i3031807>
17. Veselovska N.R., Shargorodskiy S.A., Burlaka S.A. Mathematical Modeling of the Interaction of the Arrow Leg of the Cultivator with the Soil. *Vibrations in Engineering and Technology*. 2023;(1):57–62. <https://doi.org/10.37128/2306-8744-2023-1-6>
18. Wang M., Fu Z., Zheng Zh., Huang Y., Wei W. Effect of Performance of Soil Cultivator with Different Surface Textures of Shovel Wing. *Agriculture*. 2021;(11):1039. <https://doi.org/10.3390/agriculture11111039>
19. Baek S.-Yu., Kim W.-S., Baek S.-M., Jeon H.-H., Lee J.-H., Lee D.-H., et al. Performance Simulation of an Electric Multipurpose Cultivator According to Rotary Tillage. *Korean Journal of Agricultural Science*. 2021;48(4):1027–1037. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20210087>
20. Syromyatnikov Yu.N. Research of the Process of the Cultivator for Continuous Tillage. *Aeconomics: Economics and Agriculture*. 2018;4(28):4. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/rraibt>
21. Lee S.-H., Kim T.-H., Shin So.-Y., Jang S.-H., Choi S.-R. Vibration Characteristics and Performance Analysis of Knapsack Type Weeding Cultivator According to Shape and Width of Blade. *Journal of Agriculture & Life Science*. 2021;55(6):83–90. <https://doi.org/10.14397/jals.2021.55.6.83>
22. Valiev A.R. Study of Qualitative Performance Indicators of Cultivator with Twin Disk-Shaped Operating Elements *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2017;(4):24–29. (In Russ., abstract in Eng.) <https://elibrary.ru/yqgaud>
23. Valiev A.R. Investigation of Soil Motion Along the Working Surface of a Disk Cultivator. *Vestnik of Kazan State Agrarian University*. 2017;12(3):54–60. (In Russ., abstract in Eng.) https://doi.org/10.12737/article_5a1d9587a0d852.23012684
24. Behera A., Raheman H., Thomas E.V. Comparative Study on Tillage Performance of Rota-Cultivator (a Passive – Active Combination Tillage Implement) with Rotavator (an Active Tillage Implement). *Soil & Tillage Research*. 2021;207. Article no. 104861. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104861>
25. Hosseini H., Farzad A., Majeed F. Multi-Objective Optimal Design and Development of a Four-Bar Mechanism for Weed Control. *Machines*. 2022;10(3):198. <https://doi.org/10.3390/machines10030198>
26. Priporov I.E., Kurasov V.S., Batsunov V.I. Breaking Sunflower Stubble by Needle Disk Blades of an Innovative Turbodisc Cultivator. *Engineering Technologies and Systems*. 2025;35(4):750–769. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.15507/2658-4123.035.202504.750-769>
27. Kuzychenko Yu.A. Technological Indicator of the Work of Cultivators in the Ciscaucasia. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2024;(2):94–97. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2024-106-2-94-97>

Об авторах:

Припоров Игорь Евгеньевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры тракторов, автомобилей и технической механики Кубанского государственного аграрного университета имени И. Т. Трубилина (350044, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8201-2819>, Scopus ID: 57214999941, Researcher ID: N-4901-2016, SPIN-код: 4330-0224, i.priporov@yandex.ru

Technologies, machinery and equipment

Курасов Владимир Станиславович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой тракторов, автомобилей и технической механики Кубанского государственного аграрного университета имени И. Т. Трубилина (350044, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1733-9436>, SPIN-код: 7925-1853, kurasoff@gmail.com

Бацунов Владимир Игоревич, аспирант кафедры тракторов, автомобилей и технической механики Кубанского государственного аграрного университета имени И. Т. Трубилина (350044, Российская Федерация, г. Краснодар, ул. им. Калинина, д. 13), ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2865-3674>, vovasvovas70@bk.ru

Вклад авторов:

И. Е. Припоров – формулирование идеи исследования, целей и задач; создание и подготовка рукописи: критический анализ черновика рукописи, внесение замечаний и исправлений, в том числе на этапах до и после публикации.

В. С. Курасов – осуществление научно-исследовательского процесса, включая выполнение сбора данных; создание и подготовка рукописи: визуализация результатов исследования.

В. И. Бацунов – осуществление научно-исследовательского процесса, включая сбор данных; создание и подготовка рукописи: визуализация результатов исследования и полученных данных.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

*Поступила в редакцию 22.04.2025; поступила после рецензирования 20.10.2025;
принята к публикации 14.11.2025*

About the authors:

Igor E. Priporov, Dr.Sci. (Eng.), associate professor, professor department of tractors, automobiles and technical mechanics, I. T. Trubilin Kuban State Agricultural University (13 Kalinin St., Krasnodar 350044, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8201-2819>, Scopus ID: 57214999941, Researcher ID: N-4901-2016, SPIN code: 4330-0224, i.priporov@yandex.ru

Vladimir S. Kurasov, Dr.Sci. (Eng.), associate professor, head of the department of tractors, automobiles and technical mechanics, I. T. Trubilin Kuban State Agricultural University (13 Kalinin St., Krasnodar 350044, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1733-9436>, SPIN code: 7925-1853, kurasoff@gmail.com

Vladimir I. Batsunov, Post-Graduate Student of the Department of Tractors, Automobiles and Technical Mechanics, I. T. Trubilin Kuban State Agricultural University (13 Kalinin St., Krasnodar 350044, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2865-3674>, vovasvovas70@bk.ru

Authors contribution:

I. E. Priporov – formulating the study idea, goals and objectives; preparing the manuscript: critical analysis of the draft manuscript, making comments and corrections, including at the stages before and after publication.

V. S. Kurasov – conducting the study, including conducting experiments and collecting data; preparing the manuscript: visualizing the study results

V. I. Batsunov – conducting the study, including conducting experiments and collecting data; preparing the manuscript: visualizing the study results.

All authors have read and approved the final manuscript

Submitted 22.04.2025; revised 20.10.2025; accepted 14.11.2025