

Научный обзор

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.3/10>

УДК 630: 631.312.35



Совершенствование рабочих процессов и конструкций почвообрабатывающих дисковых орудий: мировые тенденции 2015-2023 годов

Александр Г. Князев, ✉ Knjazv-sasha@rambler.ru  <https://orcid.org/0000-0002-5139-0374>

Дмитрий А. Гончаров, magistrdmitriy@gmail.com  <https://orcid.org/0009-0002-4997-9929>

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация

На сегодняшний день доказано, что использование дисковых орудий при обработке почвы в лесном хозяйстве является наиболее эффективным по сравнению с лемешными и этому в последнее время проводится много научных исследований. Совершенствование дисковых рабочих органов позволяет улучшить качество обработки почвы при выполнении лесохозяйственных работ и оптимизировать конструктивные и тяговые особенности орудий. Выявление тенденций совершенствования рабочих процессов и конструкций почвообрабатывающих дисковых орудий в нашей стране и зарубежных странах, систематизация существующих дисковых орудий и выявление заинтересованности стран в развитии исследуемых орудий является необходимым инструментом при проектировании. Видна заинтересованность стран в такого рода исследованиях, особенно США, России и Китая, имеющих наибольшее число патентов. Также выросло число интеллектуальной собственности в данной отрасли, пик которых пришелся на 2019 год. У применяемых орудий, предназначенных для обработки почвы в лесном хозяйстве, выявлена корреляция между геометрическими и технологическими параметрами рабочих органов. Статистическая значимость ($p < 0,001$) указывает на явную связь между диаметром диска почвообрабатывающего орудия и шириной обрабатываемой полосы, что можно использовать при разработке нового орудия. Предложена конструкция дискового почвообрабатывающего орудия, позволяющая повысить качество обрабатываемой поверхности и снизить динамические нагрузки при обработке почв на нераскорчеванных вырубках.

Ключевые слова: обработка почвы, дисковые орудия, вырубки, анализ, исследования, классификация

Финансирование: данное исследование не получало внешнего финансирования.

Благодарности: авторы выражают благодарность научным руководителям – профессору Драпалюку Михаилу Валентиновичу и доценту Зимарину Сергею Викторовичу, а также профессору кафедры механизации лесного хозяйства и проектирования машин ВГЛТУ Попикову Петру Ивановичу за консультации при подготовке материала. Авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Князев, А. Г. Совершенствование рабочих процессов и конструкций почвообрабатывающих дисковых орудий: мировые тенденции 2015-2023 годов / А. Г. Князев, Д. А. Гончаров // Лесотехнический журнал. – 2024. – Т. 14. – № 3 (55). – С. 168–185. – Библиогр.: с. 178–185 (41 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.3/10>.

Поступила 21.06.2024 Пересмотрена 13.09.2024 Принята 16.09.2024 Опубликовано онлайн 11.11.2024

Review

Improvement of working processes and designs of soil tillage disk implements: global trends 2015-2023

Alexander G. Knyazev, ✉ Knjazv-sasha@rambler.ru  <https://orcid.org/0000-0002-5139-0374>

Dmitry A. Goncharov, magistrdmitriy@gmail.com  <https://orcid.org/0009-0002-4997-9929>

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation

Abstract

Today it is proved that the use of disk implements in soil tillage is the most effective in comparison with plowshares and a lot of scientific research has been conducted recently. Improvement of disc working tools allows to improve the quality of soil tillage and optimize the design and traction features of the tool. Detection of tendencies of improvement of working processes and designs of soil cultivating disc implements in our country and foreign countries, systematization of existing disc implements and revealing of interest of countries in development of investigated implements. The interest of countries in this kind of research can be seen, especially the USA, Russia and China, which have the largest number of patents. The number of intellectual properties in the industry has also increased, peaking in 2019. The implements used for tillage in forestry revealed a correlation between geometric and technological parameters of working tools. Statistical significance ($p < 0.001$) shows a clear relationship between the disk diameter of the tillage tool and the width of the cultivated strip, which can be used in the development of a new tool. The design of a disk tillage tool is proposed, which allows to improve the quality of the cultivated surface and reduce dynamic loads when cultivating soils on unthinned clearings.

Keywords: tillage, disk implements, clearcuts, analysis, research, classification

Funding: this research received no external funding.

Acknowledgments: The authors express their gratitude to the scientific supervisors Professor Drapalyuk M.V. and Associate Professor S.V. Zimerin, as well as the professor of the Department of FM&MD VGLTU Popikov P.I. for consultations in the preparation of the material. Authors thanks the reviewers for their contribution to the peer review.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Knyazev A. G., Goncharov D. A. (2024). Improvement of working processes and designs of soil tillage disk implements: global trends 2015-2023. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering journal], Vol. 14, No. 3 (55), pp. 168-185 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.3/10>.

Received 21.06.2024. **Revised** 13.09.2024. **Accepted** 16.09.2024. **Published online** 11.11.2024.

Введение

Обработка почвы в лесном хозяйстве требует особого внимания, поскольку лесовосстановление осуществляется на участках бывших рубок или на территориях после пожаров. В лесном хозяйстве предъявляются повышенные требования к лесным почвообрабатывающим орудиям, что приводит к

увеличению металлоёмкости для повышения прочности; использованию тракторов более высокого тягового класса, что, в свою очередь, приводит к снижению маневренности и производительности; неэффективности работы защитных механизмов орудий при преодолении высоких препятствий В.И. Посметьев и др. (2015) [1], В.И. Посметьев и В.А. Зеликов (2015) [2], V. Balabanov и др. (2021) [3].

В исследованиях А. В. Болгова и др. (2022) [4], С. В. Зимарина и др. (2014) [5] рассматриваются существующие способы повышения эффективности лесных почвообрабатывающих орудий, в которые входит разработка новых конструкций предохранительных механизмов и совершенствование конструкции орудия различными методами для достижения требуемых показателей.

М.К. Аушев и С.И. Дзармотов (2022) [6] в своей работе отметили, что при разработке орудий рекомендуется руководствоваться принципом совершенствования рабочих органов машины. При этом увеличивается производительность, до 40% на усовершенствовании и до 60% на модернизации.

И. М. Бартенев и М.Н. Лысыч (2019) [7], М. Mutingi и др. (2017) [31] проанализировали конструкции и выяснили, что орудия, которые имеют различные рабочие модули, могут выполнять все операции по подготовке почвы, проведению агротехнических работ, а также частично производить посев и посадку лесных культур в различных условиях. В результате, большое разнообразие применяемой в лесу почвообрабатывающей техники, которая зачастую имеет низкую эффективность, можно объединить с узким кругом высоко адаптированных многофункциональных орудий. Для эффективного модульного проектирования крайне важно знать факторы проектирования и их потенциальное влияние на конечные экономические, экологические и социальные показатели продукта или процесса. Тем не менее, в нечеткой среде один или несколько факторов точно не известны на этапе проектирования.

В своей работе Р.М. Ваниев (2021) [8] провёл обзор машин для поверхностной обработки и их предохранительных систем, после чего пришёл к выводу, что машины, применяемые для обработки почвы, зачастую имеющих дисковые рабочие органы, что позволяет снизить энергоёмкость и повысить защиту от поломок за счет использования предохранителей.

Существует несколько основных этапов подготовки почвы для лесовосстановления: создание благоприятных условий для активного роста корневых систем и удаление почвенного слоя, который является частью создаваемых культур, в непосредственной близости от создаваемых растений. В

большинстве случаев для этой цели используются лемешные или дисковые плуги. М.Н. Лысыч и др. (2015) [9], М.Н. Лысыч и др. (2015) [10], М.Н. Лысыч и др. (2016) [11], М.Л. Шабанов и др (2016) [12] разработали дисковый плуг, конструкция которого позволит повысить качество основной подготовки почвы, увеличить производительность и удобство эксплуатации. Произвели имитационное моделирование с использованием САПР, их результаты показали, что такое моделирование еще на стадии проектирования позволяет быстро провести наглядные виртуальные исследования с высокой степенью достоверности, что, в свою очередь, позволит снизить количество ошибок на стадии изготовления или испытания. Рассмотрели конструкции перспективных дисковых рыхлителей и сделали классификацию по разным принципам. Сделали общее описание и области применения данных конструкций.

В своей работе М.В. Никонов (2014) [13] рассмотрел наиболее распространенные ресурсосберегающие технологии: минимальную (Mini-Till), мульчирующую (Mulch-Till), полосовую (Strip-Till) и нулевую (NoTill). Они направлены на повышение урожайности сельскохозяйственных культур, качества продукции и сохранения плодородия с одновременным снижением энергозатрат.

А.Р. Machindra и Н. Raheman (2017) [32], исследовав требования к мощности, выявили, что с увеличением ширины почвообрабатывающих орудий потребность в мощности возрастает непосредственно за счет увеличения объема обрабатываемой почвы. Однако с увеличением отношения u/v потребность в мощности снижается из-за меньшего времени, в течение которого ротатор находится в контакте с почвой. Следовательно, чтобы снизить общую потребность в мощности активно-пассивного комбинированного почвообрабатывающего орудия, лучше работать с более высоким соотношением u/v и меньшим коэффициентом глубины.

А.М. Petrov (2020) [33] и N. Aldoshin (2020) [37] представили в своих статьях результаты исследований влияния геометрических и технологических параметров дополнительной батареи игольчатых дисков на качество обработки почвы. В исследовании были разработаны комбинированные рабо-

чие органы и усовершенствована технология обработки почвы. Представлена конструкция плуга для бахчевых культур, позволяющая снизить энергозатраты на подготовку почвы – до 50%, снизить трудозатраты до 25%, а также сократить время проведения работ, уплотнения почвы и сохранения влаги в почвенном слое.

И.И. Шанин и М.Н. Лысыч (2018) [14] в своей работе рассмотрели существующие устройства, предназначенные для тушения лесных пожаров. Анализ показал, что серийное производство не организовано.

С.И. Старовойтов (2014) [15], С.В. Мальюков и др. (2023) [16], М.В. Шавков и др. (2023) [17] в своих статьях проанализировали конструкции и особенности основных типов дисковых орудий. При анализе существующих систем дисковых орудий, можно сделать вывод, что они отличаются от лемешно-лапчатых орудий наибольшим разнообразием и универсальностью. В случае изменения технологических параметров (угла атаки, угла наклона) орудие может быть использовано для разных видов обработки. Старовойтов С.И. рассмотрел такие особенности почвообрабатывающих орудий как крошащая, оборачивающая и подрезная способность диска. Опираясь на его материалы, можно сделать следующие выводы.

1. В сравнении с почвообрабатывающими машинами, которые имеют пассивные рабочие органы, у дисков происходит меньше износ режущей кромки.

2. Снижение энергозатрат при использовании дисков с индивидуальным или групповым расположением способствует их использованию в условиях неполного заблокированного резания.

3. При этом способность к крошению, оборачиваемости и подрезанию диска зависит от его геометрических размеров: радиуса кривизны, угла атаки и диаметра.

4. Угол атаки и радиус кривизны диска должны подбираться таким образом, чтобы обеспечить минимальную энергозатратность на почвах с различными гранулометрическими свойствами.

Перспективы разработки рекуперативного навесного механизма для агрегатирования с дисковыми орудиями и пути повышения эффективности использования дисковых орудий в своих работах

рассмотрели В.И. Посметьев и др. (2023) [18], В.Г. Ковалев (2023) [19], К.Ю. Родионов и Ф.Н. Галлямов (2023) [20]. Применение рекуперативного механизма позволяет повысить топливную экономичность, улучшить заглубляющую способность лесных дисковых орудий (ЛДО), обеспечить надежное удержание ЛДО на нужной глубине обработки без использования дополнительного балласта, уменьшить динамические нагрузки на ЛДО и в целом увеличить их показатели надежности, производительности и качество обработки почвы на лесных объектах. Для обоснования конструкции дискового орудия провели исследования по расположению и конструктивно – технологических параметров. Работа показала, что для того, чтобы исключить засорение междискового пространства почвой и растительными остатками, необходим правильный выбор продольной расстановки дисковых рабочих органов на раме орудия.

Д.С. Раабе и др. (2021) [21], Д.С. Раабе и др. (2021) [22], Е.В. Припоров и Р.С. Марушко (2017) [27], S. Almaliki (2017) [41] провели анализ и установили, что от угла атаки и скорости движения зависит полнота подрезания сорняков и создание мульчи. Лучшие показатели получили при угле атаки 35° и скорости движения 8-9 км/ч. Величина заглубления с увеличением скорости уменьшается, но растёт при увеличении угла атаки. Поэтому угол атаки должен быть максимальным при работе на плотных почвах. Также авторы рассмотрели сферический диск, закреплённый на индивидуальной стойке, который выполняет функции лемеха и отвала, что приводит к снижению затрат энергии на процесс обработки. Установили, что при использовании четырёхрядного дискового мульчера наблюдается наибольшая потребность мощности двигателя трактора. Наименьшая мощность была выявлена при использовании двухрядного дискового орудия. Разработали математические модели тяговой силы для трёх видов плугов (отвального, долообразного и дискового). Провели исследования на илистой глинистой почве на трёх глубинах и тремя скоростями движения. Анализ показал, что наиболее влиятельным фактором тяговой силы является глубина обработки, далее скорость и индекс конуса.

Самые высокие требования к силе тяги были зафиксированы у отвального плуга, за ним у долотообразного и дискового.

А.В. Евченко (2019) [23], А.С. Союнов и др. (2017) [26] рассмотрели использование шестиугольных дисковых орудий. По результатам испытаний было выявлено, что такие дисковые орудия соответствуют показателям качества выполнения технологического процесса и превосходят орудия со стандартными круглыми сферическими дисками. А также показали более низкое удельное сопротивление при вспашке на глубину 6-10 см, меньше отбрасывали и распыляли почву и намного лучше подрезали сорняки. Диск может справиться с небольшой нагрузкой, которая возникает в момент преодоления пучков соломы, разрезая их, в то время как круглый диск начинает движение и волочит ее перед собой, что приводит к забиванию или выглублению. При разрезании соломы, способной к растяжению, используется установка дисков 130 на валу секции лущильника с возможностью их перемещения относительно друг друга на 30°, что позволяет снизить количество энергозатрат.

В.И. Курдюмов и др (2018) [24] разработали универсальное орудие для прикатывания почвы, которое можно использовать комбинированно с дисковыми боронами, культиваторами и другими агрегатами для отвальной или безотвальной обработки почвы. После проведения исследований пришли к выводу, что применение такого орудия повышает качество обработки почвы, улучшает водный режим и воздушные условия для последующего развития культурных растений.

В.Ю. Худиков и др. (2018) [25] представили анализ зависимости неровности дна борозды от конструктивных параметров дисков. При анализе было выяснено, что уровень неровность дна борозды может иметь кривую, зависящую от особенностей конструкции орудия, и не зависит от глубины обработки. Поэтому, выравнивание дна борозды целесообразнее проводить при помощи изменения угла атаки и расстояния между рабочими органами.

При проведении исследований, направленных на определение эксплуатационных характеристик и выработку научно обоснованных рекомендаций по рациональному использованию дисковых

почвообрабатывающих орудий А-6002 «Агродиск» Н.Н. Бережновым (2017) [28], было проведено их контрольное динамометрирование исследование в составе машинно-тракторного агрегата (МТА). На этапе проведения испытаний было установлено, что были измерены тяговое сопротивление машины, скорость передвижения и буксование колес трактора. Целесообразным стало установление расчетного значения требуемой мощности двигателя в диапазоне 136,1-361,4 кВт.

В своей статье провёл сравнительный анализ дисковых рабочих органов М.Н. Лысыч (2014) [29], S. Kukharets и др. (2018) [39]. Они пришли к выводу, что для использования в тяжелых условиях каменистых почв и вырубков будут наиболее перспективны сферические диски с индивидуальным упругим креплением к раме.

В своей работе Д.Ю. Дручинин и соавторы (2015) [30], Т. Storozhuk и др. (2023) [38] рассмотрели работу лесных дисковых орудий зарубежного производства с активным приводом. Применение дисковых орудий с активным приводом позволяет одновременно выполнять обработку почвы – рыхление, перемешивать разрыхленный слой и выравнивать поверхность, в зависимости от типа почвы может менять скорость вращения рабочих органов. Использование таких дисков повышает показатель оборачиваемости пласта на 6% и снижает мощность на поступательное движение агрегата на 15%.

N.I. Dzhabborov и др. (2019) [34] представили в своей работе результаты экспериментальных исследований комбинированных почвообрабатывающих агрегатов с рабочими органами для глубокого рыхления после проведения модификации, которая позволила повысить износостойкость рабочих органов и обеспечить более качественное рыхление почвы.

Y.I. Grechishkina и др. (2019) [35] описали различные системы обработки почвы, влияющие на сохранение и накопление продуктивной влаги при использовании машин и орудий отечественного и зарубежного производства для засушливой зоны юга России. При отвальной обработке почвы эти показатели самые низкие, а ресурсосберегающие системы дают примерно одинаковые результаты при

определении запаса продуктивной влаги на всех фазах развития культуры. Различные системы обработки почвы в севообороте в одинаковой степени влияют на агрофизические показатели плодородия - агрегатный состав, влагоемкость, структурный коэффициент. Отвальная система обработки почвы обуславливает наименьшую плотность почвы при возделывании севооборота по сравнению с различными ресурсосберегающими системами, что касается пористости почвы, то в большинстве случаев эти показатели больших значений отмечаются при отвальной обработке почвы.

В исследованиях А.В. Kalinin и др. (2021) [36] было доказано, что основным антропогенным воздействием, является чрезмерное уплотнение почвы в зоне распространения корней, что препятствует распространению корневой системы картофеля. В ходе исследований использовал реологическую модель состояния почвы, статистические методы оценки процессов и цифровые карты полей. Пришел к выводу, что для рыхления почвы необходимо использовать глубокорыхлитель-культиватор, оснащенный цифровой системой контроля глубины обработки, которая обеспечивает осуществление дифференцированной обработки, минимизирующей энергозатраты при обработке почвы.

А. López-Vázquez и др. (2019) [40] сравнили три системы обработки почвы в полусухих условиях Мексики: дисковый плуг/дисковая борона/сеялка (DDP), чизельный плуг/дисковая борона/сеялка (CHDP) и без обработки почвы (NT). Результаты показали, что существовали значительные различия в количестве используемой энергии на гектар; DDP использовал в среднем 379,75 МДж, CHDP - 135,01 МДж и NT - 26,43 МДж. Средняя энергия, приложенная к массе почвы для каждой системы, составила 400 Дж/кг-1 для DDP, 255,13 Дж/кг-1 для

CHDP, а для NT - 237,8 Дж/кг-1. Общая энергоэффективность составила: 18,23% для DDP, 6,88% для CHDP и 4,77% для NT. В условиях полусухого климата Мексики CHDP и NT позволяют экономить от 64% до 93% энергии по сравнению с DDP.

Целью работы является выявление тенденций совершенствования рабочих процессов и конструкций почвообрабатывающих дисковых орудий в нашей стране и зарубежных странах, систематизация существующих дисковых орудий и выявление заинтересованности стран в развитии исследуемых орудий.

Материалы и методы

Предмет и объект исследования

Объектом исследования являются конструктивные особенности дисковых рабочих органов почвообрабатывающих орудий.

Предметом исследования являются параметры сферических дисков и взаимодействие с почвенной средой.

Сбор данных

Поиск информации производился в поисковой системе «Яндекс», «Google», а также в базах данных Elibrary, ФИПС, PATENTSCOPE и Espacenet. При поиске информации в строку вводились запросы «лесной плуг» или «почвообрабатывающие дисковые орудия», или «сферические диски». Интервал поиска по времени был выбран с 1900 по 2024 годы.

С помощью НИР, которые проводятся как частными исследователями, так и учеными, являющимися членами научных групп из разных стран, можно найти нестандартные способы использования сферических дисков. Работы по улучшению технологических и качественных характеристик до сих пор проводятся.

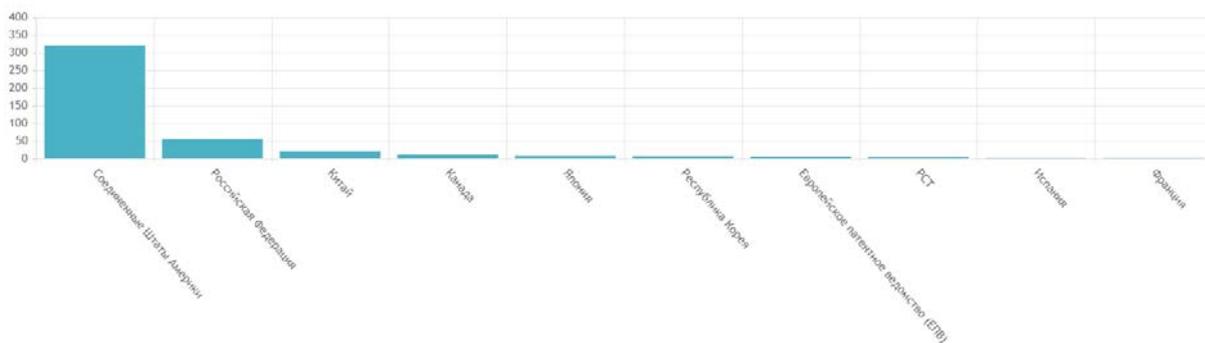


Рисунок 1. Доля стран, имеющих запатентованные разработки по дисковым почвообрабатывающим орудиям

Figure 1. Proportion of countries with patented developments in disk tillage implements

Источник: Анализ патентов ВОИС: https://patentscope.wipo.int/search/ru/result.jsf?_vid=P11-LWAI0Y-88907

Source: Patent Analysis WIPO: https://patentscope.wipo.int/search/ru/result.jsf?_vid=P11-LWAI0Y-88907

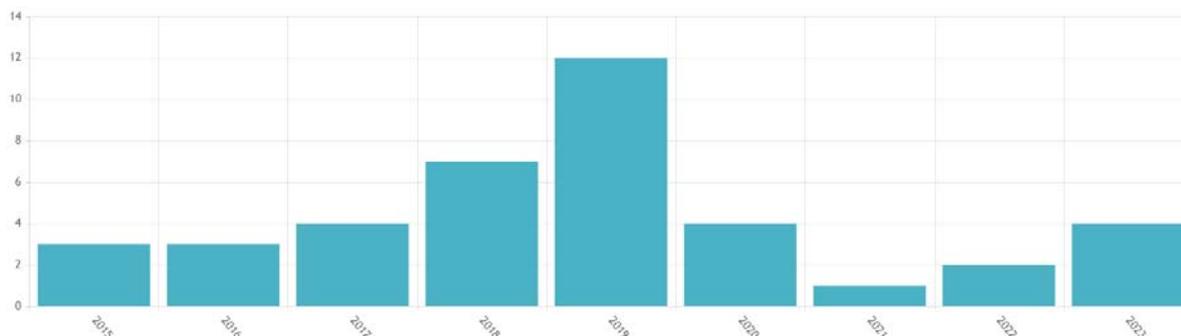


Рисунок 2. Доля патентных документов по разработке дисковых почвообрабатывающих орудий, распределенная по годам

Figure 2. Share of patent documents on the development of disk tillage implements distributed by year

Источник: Анализ патентов ВОИС: https://patentscope.wipo.int/search/ru/result.jsf?_vid=P11-LWAGSY-40880

Source: Patent Analysis WIPO: https://patentscope.wipo.int/search/ru/result.jsf?_vid=P11-LWAGSY-40880

Проведено патентное исследование по анализу рынка лесного хозяйства, а именно в области лесных почвообрабатывающих орудий. На рис. 1 представлена гистограмма распределения стран, имеющих патенты дисковых почвообрабатывающих орудий. Лидерами по исследованию дисковых орудий являются Соединенные Штаты Америки, Россия и Китай, что говорит о большой заинтересованности развития техники в данной области наук в этих государствах.

На рис. 2 представлена гистограмма распределения патентов за последние 9 лет. Видно, что наибольшее количество публикаций происходило в 2018 и 2019 годах. Это говорит о том, что спрос в последнее время на исследования в области проектирования дисковых почвообрабатывающих машин является очень актуальным во всем мире.

Анализ данных

При сравнительном анализе дисковых рабочих органов были использованы евклидово расстояние и метод связи Уорда, который пытается минимизировать дисперсию между кластерами. Для реализации поставленной задачи был использован высокоуровневый язык программирования общего назначения Python. В данной программе были выбраны библиотеки: NumPy для работы с массивами данных, Matplotlib для визуализации и построения графиков, SciPy для выполнения научных и инженерных расчетов и scikit-learn для машинного обучения. В дисковых орудиях сравнивались параметры (диаметр дисков, ширина захвата, глубина обработки почвы).

Результаты

Проведение обзорного анализа научных исследований и патентов орудий по обработке почв в лесном хозяйстве показало, что наиболее популярным направлением исследований является разработка дисковых орудий. Это связано с тем, что данный тип орудий более приспособлен к работе в лесном хозяйстве. Также в области применения комбинированных агрегатов ведутся исследования, в кото-

рых утверждается, что применение нескольких типов рабочих органов способствует повышению качества обработки почвы и снижению тяговой нагрузки на трактор.

Для анализа подбирались орудия преимущественно лесного хозяйства, приведенные в табл. 1, с небольшой шириной захвата, позволяющие использовать их в стесненных условиях эксплуатации. Построена дендрограмма (рис. 3), показывающая сходства между орудиями.

Таблица 1

Дисковые орудия и сравнительные параметры

Table 1

Disc implements and comparative parameters

Позиция Position	Орудие The gun	Диаметр диска, м Disk diameter, m	Глубина обработки почвы, м Tillage depth, m	Ширина захвата, м Working width, m
0	КЛД-2 CLD-2	0,56	0,15	2,0
1	КЛЛ-1,7 CLL-1.7	0,56	0,2	1,7
2	КЛБ-1,7 CLB-1.7	0,56	0,1	1,7
3	ПД-0,7 PD -0.7	0,71	0,15	0,7
4	ПЛД-1,2 PLD-1.2	0,6	0,15	1,2
5	ПДВ-1,5 PDV-1.5	0,70	0,15	1,5
6	ПДП-1,2 PDP-1.2	0,71	0,15	1,2
7	Megale C8D	0,6	0,15	1,8
8	AFP	0,95	0,12	0,45
9	JTLF 1H	0,95	0,1	0,45
10	TRF-1N	0,95	0,1	0,45
11	FMD 1224	0,6	0,13	2,0
12	TOLH	0,6	0,13	1,8
13	EAM 628	0,7	0,1	2,2

Источник: Собственные изыскания авторов.

Source: Authors' own research.

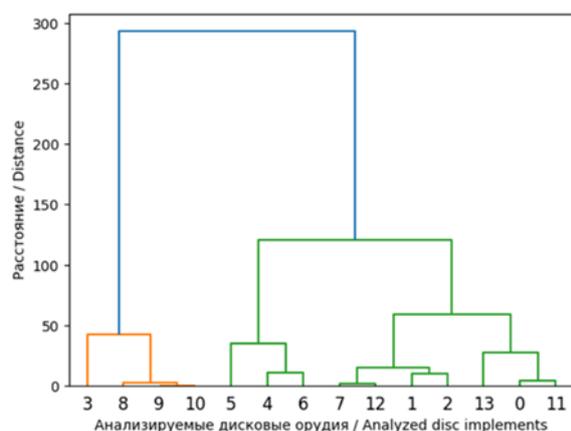


Рисунок 3. Дендрограмма сходства и различия дисковых орудий

Figure 3. Dendrogram of similarities and differences of disk implements

Источник: собственные вычисления авторов

Source: own calculations

Из анализа полученной дендрограммы (рис. 3) видно, что рассматриваемые дисковые почвообрабатывающие орудия разделились на три больших класса. Видна явная взаимосвязь диаметра диска от ширины захвата орудия, что подтверждается уровнем значимости ($p < 0,001$). Чем меньше ширина захвата, там больше диаметр диска. В первый класс вошли 4 орудия (ПД-0,7, AFP, JTLF 1H, TRF-1N) имеющие наибольший диаметр диска 0,71 и 0,95 метра, при этом с наименьшей шириной захвата 0,7 и 0,45 метра. Во втором классе находятся 3 орудия (ПЛД-1,2, ПДВ-1,5, ПДП-1,2), имеющие очень схожие технологические параметры. Диаметр дисков у них составляет от 0,6 до 0,71 метра при ширине захвата от 1,2 до 1,5 метра. Третий класс является самым большим и включает в себя 7 агрегатов (КЛД-2, КЛЛ-1,7, КЛБ-1,7, Megale C8D, FMD 1224,

TOLH, EAM 628), имеющих самые маленькие диски от 0,56 до 0,7 метра и самую большую ширину захвата орудия от 1,7 до 2,2 метров.

Нами был предложен дисковый плуг (рис. 4), предназначенный для работы в лесных условиях.

Обсуждение

Применяемые лесные орудия для обработки почв не способны выполнять эффективную работу на участках, перенасыщенных различными препятствиями и имеющих неровный рельеф почвы, из-за которого ухудшается качество подготовки почв под посадку (посев) культур.

Особенностью является наличие весьма гибкой структуры рамы плуга, позволяющую копировать рельеф местности и в то же время осуществлять качественную обработку почвы. За счет применения нескольких технологических операций за один проход и применение активных рабочих органов, которые позволяют повысить качество обрабатываемой поверхности.

Перед началом работы лесной дисковый плуг при помощи навесного устройства соединяют с механизмом навески трактора, устанавливают передние дисковые корпуса с цельнокрайними дисками вразвал, а задние дисковые корпуса с вырезными дисками – всвал, и регулируют глубину хода рабочих органов. После этого посредством гидрораспределителя включают гидромоторы вырезных дисков задних дисковых корпусов, и машинно-тракторный агрегат начинает движение по нераскорчеванной вырубке.

В процессе работы лесного дискового плуга черенковый нож 5 разрезает напочвенный покров и мелкие препятствия в виде корней и порубочных остатков, встречающиеся на пути движения плуга, при этом лобовик 6 обеспечивает защиту черенкового ножа от ударных нагрузок, рыхлительные клинья 3 черенкового ножа осуществляют интенсивное рыхление дна борозды, а покровосдиратель 4 в виде двухотвального лемешного корпуса подрезает и сдвигает в стороны задернелый слой почвы.

Идущие следом за ними и установленные вразвал передние дисковые корпуса с цельнокрайними дисками создают борозду с укладкой перевернутых пластов почвы на необработанную поверхность нераскорчеванного слоя почвы. При встрече с

препятствием в виде пня или крупного корня передние дисковые корпуса за счет пружинных амортизаторов осуществляют поворот цельнокрайних дисков в горизонтальной плоскости на нулевой угол атаки, что обеспечивает их перекатывание через препятствие с минимальным тяговым усилием без повреждения передних дисковых корпусов.

После этого вырезные диски задних дисковых корпусов, имеющие привод от отдельных гидромоторов, перерезают растительные остатки, измельчают задернелые перевернутые пласты почвы на мелкие фракции и формируют полосу шириной 1,2 метра под самосев. Применение шарнирного соединения независимых секций 11 и 12 с кронштейнами 19 и 20 задней рамы 21 и с помощью предохранительно-догружающих устройств обеспечиваются копирование рельефа местности в вертикальной плоскости и их устойчивое движение на установленной глубине обработки почвы. При встрече одного из вырезных дисков задних дисковых корпусов с препятствием в виде пня или крупного корня независимая задняя секция поворачивается вокруг шарнирного соединения с кронштейнами 19 или 20 задней рамы 21, при этом шток гидроцилиндра 17 или 18 перемещается вверх, вытесняя рабочую жидкость из поршневой полости. После преодоления препятствия вырезным диском заднего дискового корпуса он возвращается в рабочее положение.

Такое исполнение лесного дискового плуга с гидроприводом рабочих органов позволяет обеспечить качественную подготовку почвы на нераскорчеванных вырубках под самосев, посев или посадку лесных культур, благоприятные условия почвенной среды для роста древесных растений и надежную защиту задних дисковых корпусов при их наезде на препятствия в виде пней или крупных корней.

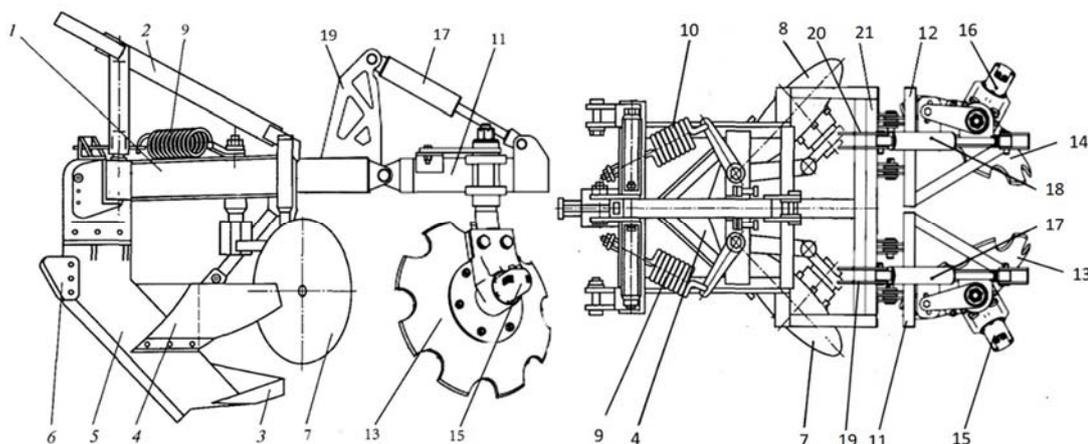


Рисунок 4. Лесной дисковый плуг

1 – передняя рама; 2 – навесное устройство; 3 – рыхлительная лапа; 4 – дерносним; 5 – черенковый нож; 6 – лобовик; 7, 8 – передние дисковые корпуса; 9, 10 – пружинные амортизаторы; 11, 12 – задние шарнирно сочлененные рамы; 13, 14 – задние вырезные диски; 15, 16 – гидромоторы; 17, 18 – предохранительно-догрузательное устройство; 19, 20 – кронштейны задней рамы; 21 – задняя рама

Figure 4. Forest disk plow

1 - front frame; 2 - attachment device; 3 - ripping foot; 4 - sternosnim; 5 - cutter knife; 6 - lobovik; 7, 8 - front disk bodies; 9, 10 - spring shock absorbers; 11, 12 - rear articulated frames; 13, 14 - rear cutting disks; 15, 16 - hydraulic motors; 17, 18 - safety-loading device; 19, 20 - rear frame brackets; 21 - rear frame

Источник: Патент № RU2817856C1

Source: Patent № RU2817856C1

Заключение

На основании анализа применяемых и перспективных конструкций дисковых почвообрабатывающих орудий выявлены следующие тенденции:

- Применение дисковых орудий с активным приводом позволяет одновременно выполнять обработку почвы – рыхление, перемешивать разрыхленный слой и выравнивать поверхность и, в зависимости от типа почвы, может менять скорость вращения рабочих органов. Использование таких дисков повышает показатель оборачиваемости пласта на 6% и снижает мощность на поступательное движение агрегата.

- Патентное исследование по анализу рынка лесного хозяйства, а именно в области лесных почвообрабатывающих орудий, показало, что лидерами по исследованию дисковых орудий являются Соединенные Штаты Америки, Россия и Китай, что говорит о большой заинтересованности развития техники в данной области наук в данных государствах.

- Проведенный анализ применяемых орудий, способных обрабатывать почву в лесном хозяйстве,

выявил корреляцию между геометрическими и технологическими параметрами рабочих органов, что можно использовать при ускорении разработки нового орудия. Уровень статистической значимости ($p < 0,001$). Нами разработана конструкция лесного дискового плуга, позволяющая выполнять несколько технологических операций за один проход. Особенностью является наличие весьма гибкой структуры рамы плуга, позволяющую копировать рельеф почвы и в то же время проводить качественную обработку почвы. Применение вырезных дисков с гидроприводом позволяет повысить качество обрабатываемой поверхности и снизить динамические нагрузки.

Список литературы

1. Посметьев В. И., Зеликов В. А., Латышева М. А., Посметьев В. В. Основные причины недостаточной эффективности лесных почвообрабатывающих агрегатов и пути ее повышения. Воронежский научно-технический Вестник. 2015; 3-3(13): 45-59. DOI: <https://doi.org/10.12737/14008>.
2. Посметьев, В. И., Зеликов В. А. Состояние и пути повышения эффективности почвообрабатывающих агрегатов при лесовосстановлении на вырубках. Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова. 2015. – 236 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23558793>.
3. Balabanov V., Lee A., Norov B., Khudaev I., Egorov V. Investigation of various options for processing gray forest soil in a field crop rotation. E3S Web of Conferences. "International Scientific Conference "Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering, Conmechydro. 2021: 04025. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126404025>.
4. Болгов А. В., Малюков С. В., Малюкова М. А. Технологии и механизация выращивания лесных культур. Современный лесной комплекс страны: проблемы и тренды развития: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 07 октября 2022 года / отв. ред. А.А. Платонов. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2022. – С. 91-95. DOI: https://doi.org/10.58168/MFCCPTD2022_91-95.
5. Зимарин, С. В., Попиков П. И., Сердюкова Н. А. Анализ способов повышения эффективности лесных дисковых почвообрабатывающих орудий на вырубках. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014; 2-2(7-2): 219-224. DOI: <https://doi.org/10.12737/3139>.
6. Аушев М. К., Дзарматов С. И. Обзор и обоснование машин и орудий для междурядной обработки почвы в саду. Проблемы развития АПК региона. 2022; 2(50): 10-18. DOI: https://doi.org/10.52671/20790996_2022_2_10.
7. Бартенев И. М., Лысыч М. Н. Общая концепция блочно-модульного построения лесных почвообрабатывающих орудий. Тракторы и сельхозмашины. 2019; 2: 18-26. DOI: <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2019-2-18-26>.
8. Ваниев Р. М. Обзор машин для поверхностной обработки и их предохранительных устройств (на примере дискаторов). Научное обеспечение сельского хозяйства горных и предгорных территорий : Материалы II Всероссийской студенческой научно-практической конференции, Владикавказ, 25 ноября 2021 года. Ч. 2. – Владикавказ: Горский государственный аграрный университет. 2021; 90-94. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47926278>.
9. Лысыч, М. Н., Шабанов М. Л., Иконников Р. В. Дисковый лесной рыхлитель. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015; 2-1(13-1): 60-64. DOI: <https://doi.org/10.12737/10019>.
10. Лысыч М. Н., Шабанов М. Л., Иконников Р. В. Имитационное моделирование процесса работы дискового рыхлителя в условиях лесной вырубки. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015; 5-1(16-1): 230-233. DOI: <https://doi.org/10.12737/14494>.
11. Лысыч М. Н., Шабанов М. Л., Иконников Р. В. Исследование рабочего процесса лесного дискового рыхлителя с использованием средств САПР. Современные наукоемкие технологии. 2016; 12-2: 263-268. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27706691>.
12. Шабанов М. Л., Лысыч М. Н., Иконников Р. В. Перспективные конструкции лесных дисковых рыхлителей. Современные наукоемкие технологии. 2016; 12-1: 92-97. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27706662>.
13. Никонов М. В. К вопросу о создании комбинированных почвообрабатывающих орудий для реализации ресурсосберегающих технологий. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2014; 4: 55-57. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22251704>.

14. Шанин И. И., Лысыч М. Н. Эффективные орудия и механизированные технические устройства, применяемые при профилактике и тушении лесных пожаров. *Успехи современного естествознания*. 2018; 12-2: 403-410. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36971898>.

15. Старовойтов С.И. Особенности дисковых почвообрабатывающих орудий. Проблемы энергообеспечения, информатизации и автоматизации, безопасности и природопользования в АПК. 2014; 210-215. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25222460>.

16. Малюков С. В., Лысыч М. Н., Бухтояров Л. Д., Поздняков Е. В., Гнусов М. А., Шавков М. В., Петков А. Ф. Анализ дисковых рабочих органов лесных почвообрабатывающих орудий. *Лесотехнический журнал*. 2023; 2 (50): 128–141. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.2/7>.

17. Шавков М. В., Малюков С. В., Боглов А. В., Малюкова М. А., Аксенов А. А. Анализ конструкции и работы основных типов дисковых орудий. Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Девятой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием, Петрозаводск, 02 мая 2023 года. – Петрозаводск: Петрозаводский государственный университет. 2023; 186-187. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54735395>.

18. Посметьев В. И., Никонов В. О., Савинков М. А., Снятков Е. В. Перспективы разработки рекуперативного навесного механизма трактора с приспособлением для агрегатирования его с лесными дисковыми орудиями. Проблемы эксплуатации и перспективы развития автомобильного транспорта : Материалы Всероссийской научно-технической конференции, Воронеж, 05–06 октября 2023 года. отв. ред. В.О. Никонов. – Воронеж, 2023; 101-111. DOI: https://doi.org/10.58168/OPPRTD_101-111.

19. Ковалев В. Г. Пути повышения эффективности использования дисковых орудий. Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства: Сборник научных трудов. – Горки : Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. 2023; 168-170. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54804022>.

20. Родионов К. Ю., Галлямов Ф. Н. Обоснование конструкции дискового почвообрабатывающего орудия. Агропромышленный комплекс в условиях современной реальности: Сборник трудов международной научно-практической конференции, Тюмень, 01 марта 2023 года. – Тюмень: Государственный аграрный университет Северного Зауралья 2023; 152-158. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53812919>.

21. Раабе Д. С., Бегунов М. А., Коваль В. С. [и др.] Анализ дисковых орудий для поверхностной обработки почвы. Современное научное знание в условиях системных изменений : материалы Пятой национальной научно-практической конференции, Тарский филиал ФГБОУ ВО Омский ГАУ, 02–03 июня 2021 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина, 2021: 136-145. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46544756>.

22. Раабе Д. С., М. А. Бегунов, В. С. Коваль [и др.] Сравнительный анализ дисковых орудий. Перспективные технологии в аграрном производстве: человек, "цифра", окружающая среда (AgroProd 2021) : Материалы международной научно-практической конференции, Омск, 28 июля 2021 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина 2021: 321-326. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46657014>.

23. Евченко А. В. К вопросу об использовании орудий с шестиугольными дисковыми рабочими органами при возделывании сельскохозяйственных культур. Приоритетные дискуссии XXI века: междисциплинарные исследования современности : Материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 25 мая 2019 года. – Ростов-на-Дону: Южный университет (ИУБиП). 2019: 338-340. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43817530>.

24. Курдюмов В. И., Зыкин Е. С., Гаврилова В. Е. Обоснование диаметра дискового рыхлителя орудия для прикатывания почвы. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2018; 2(42): 13-17. DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-2-13-17>.

25. Худиков В. Ю., Коновалов С. И., Коновалова О. В. Гребнистость дна борозды при работе дисковых орудий и способы ее снижения. Научное обеспечение агропромышленного комплекса : Сборник статей по материалам 73-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2017 год, Краснодар, 25 апреля 2018 года / отв. за выпуск А.Г. Коцаев. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина. 2018: 421-423. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35434542>.
26. Союнов А. С., Чупин П. В., Прокопов С. П. [и др.] Совершенствование рабочих органов дисковых почвообрабатывающих орудий. Научное и техническое обеспечение АПК, состояние и перспективы развития : Сборник материалов Национальной научно-практической конференции, Омск, 06 апреля 2017 года. – Омск: Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина. 2017: 126-131. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29971587>.
27. Припоров Е. В., Марушко Р. С. Анализ дисковых орудий для поверхностной обработки почвы. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017; 5(67): 112-115. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30547783>.
28. Бережнов Н. Н. Обоснование номинальной мощности энергосредства при агрегатировании с дисковым почвообрабатывающим орудием по результатам динамометрирования агрегата. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017; 5(151): 163-170. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29220916>.
29. Лысыч М. Н. Анализ конструкций дисковых рабочих органов почвообрабатывающих орудий и возможностей их применения в условиях лесных вырубок. Современные проблемы науки и образования. 2014; 6: 209. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22877233>.
30. Дручинин Д. Ю., Попиков П. И., Жижко В. И. [и др.] Повышение качества основной обработки почвы лесными дисковыми орудиями. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015; 9-2(20-2): 133-136. DOI: <https://doi.org/10.12737/16450>.
31. Mutingi M., Dube P., Mbohwa C. A modular product design approach for sustainable manufacturing in a fuzzy environment. Procedia Manufacturing. 2017: 471-478. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.02.060>.
32. Machindra A. R., Raheman H. Investigations on power requirement of active-passive combination tillage implement. Engineering in agriculture, environment and food. 2017; 1: 4-13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2016.06.004>.
33. Petrov A. M. et al. Justification of optimal design and technological parameters of needle discs of the combined working body. Bio web of conferences. – EDP Sciences. 2020: 00016. DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700016>.
34. Dzhaborov N. I., Dobrinov A. V., Eviev V. A. Evaluation of the energy parameters and agrotechnical indicators of aggregate for deep subsurface tillage. Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing. 2019: 1: 012036. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1210/1/012036>.
35. Grechishkina Y. I. et al. Influence of cultivation technologies of agricultural crops with the use of machines and tools of domestic and foreign production for the dry area of the South of Russia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing. 2019; 5: 052030. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/315/5/052030>.
36. Kalinin A. B. et al. Improving the efficiency of the soil uncompactness by the cultivator-subsoiler through the use of digital systems for working depth control. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing. 2021; 3: 032061. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032061>.
37. Aldoshin N. et al. Development of combined tillage tool for melon cultivation, In Proceedings: 19th International Conference on Engineering for Rural development. Jelgava. 2020. DOI: <https://doi.org/10.22616/ERDev.2020.19.TF175>.
38. Storozhuk T. et al. Substantiation of the disk soil-cultivating tool parameters for all forms of farming. E3S Web of Conferences. – EDP Sciences. 2023: 06012. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339006012>

39. Kukharets S., Golub G., Biletskii V., Medvedskiyet O. Substantiation of the parameters of the disk-knife working body and the study of its work. *Research in Agricultural Engineering*. 2018; 4: 195-201. DOI: <https://doi.org/10.17221/87/2017-rae>.

40. López-Vázquez A., Cadena-Zapata M., Campos-Magaña S., Zermeño-Gonzalez A., Mendez-Dorado. M. Comparison of energy used and effects on bulk density and yield by tillage systems in a semiarid condition of Mexico. *Agronomy*. 2019; 9 (4): 189. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy9040189> .

41. Almaliki S. Simulation of draft force for three types of plow using response surface method under various field conditions. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*. 2018; 49(6): 1123-1124. DOI: <https://doi.org/10.36103/ijas.v49i6.151>.

References

1. Posmet'ev V. I., Zelikov V. A., Latysheva M. A., Posmet'ev V. V. Osnovnye prichiny nedostatochnoj jeffektivnosti lesnyh pochvoobrabatyvajushhih agregatov i puti ee povysheniya [Main reasons for insufficient efficiency of forest tillage units and ways to increase it]. *Voronezhskij nauchno-tehnicheskij Vestnik = Voronezh Scientific-Technical Bulletin*. 2015; 3-3(13): 45-59. DOI: <https://doi.org/10.12737/14008> .

2. Posmet'ev, V. I., Zelikov V. A. Sostojanie i puti povysheniya jeffektivnosti pochvoobrabatyvajushhih agregatov pri lesovosstanovlenii na vyrubkah [Status and ways to improve the efficiency of tillage aggregates during reforestation on clearcuts]. *Voronezhskij gosudarstvennyj lesotekhnicheskij universitet im. G.F. Morozova = Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov. G.F. Morozov*. 2015;. – 236 s. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23558793>.

3. Balabanov V., Lee A., Norov B., Khudaev I., Egorov V. Investigation of various options for processing gray forest soil in a field crop rotation. *E3S Web of Conferences*. "International Scientific Conference "Construction Mechanics, Hydraulics and Water Resources Engineering, Conmechydro. 2021: 04025. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126404025>.

4. Bolgov A. V., Maljukov S. V., Maljukova M. A. Tehnologii i mehanizacija vyrashhivaniya lesnyh kul'tur [Technologies and mechanization of forest crops cultivation]. *Sovremennyj lesnoj kompleks strany: problemy i trendy razvitiya: Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Voronezh, 07 oktjabrja 2022 goda / Otv. redaktor A.A. Platonov. – Voronezh: Voronezhskij gosudarstvennyj lesotekhnicheskij universitet im. G.F. Morozova [Modern forestry complex of the country: problems and trends of development: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference, Voronezh, October 07, 2022 / Editor-in-Chief A.A. Platonov. - Voronezh: Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov. G.F. Morozov], 2022. – pp. 91-95. DOI: https://doi.org/10.58168/MFCCPTD2022_91-95.*

5. Zimarin, S. V., Popikov P. I., Serdjukova N. A. Analiz sposobov povysheniya jeffektivnosti lesnyh diskovyh pochvoobrabatyvajushhih orudij na vyrubkah [Analysis of ways to improve the efficiency of forest disk tillage implements on clearcuts]. *Aktual'nye napravlenija nauchnyh issledovanij XXI veka: teorija i praktika = Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice*. 2014; 2-2(7-2): 219-224. DOI: <https://doi.org/10.12737/3139>.

6. Aushev M. K., Dzarmotov S. I. Obzor i obosnovanie mashin i orudij dlja mezhdurjadnoj obrabotki pochvy v sadu [Review and justification of machines and implements for inter-row tillage in the garden]. *Problemy razvitiya APK regiona = Problems of agro-industrial complex development in the region*. 2022; 2(50): 10-18. DOI: https://doi.org/10.52671/20790996_2022_2_10.

7. Bartenev I. M., Lysych M. N. Obshhaja koncepcija blochno-modul'nogo postroeniya lesnyh pochvoobrabatyvajushhih orudij [General concept of block-modular construction of forest tillage implements]. *Traktory i sel'hozmashiny = Tractors and agricultural machinery*. 2019; 2: 18-26. DOI: <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2019-2-18-26>.

8. Vaniev R. M. Obzor mashin dlja poverhnostnoj obrabotki i ih predohranitel'nyh ustrojstv (na primere diskatorov) [Overview of surface cultivation machines and their safety devices (discators as an example)]. *Nauchnoe*

obespechenie sel'skogo hozjajstva gornyh i predgornyh territorij : Materialy II Vserossijskoj studencheskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Vladikavkaz, 25 nojabrja 2021 goda. Tom Chast' 2. – Vladikavkaz: Gorskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet [Scientific support of agriculture in mountainous and foothill areas : Proceedings of the II All-Russian Student Scientific and Practical Conference, Vladikavkaz, November 25, 2021. Volume Part 2. - Vladikavkaz: Gorsky State Agrarian University]. 2021; 90-94. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47926278>.

9. Lysych, M. N., Shabanov M. L., Ikonnikov R. V. Diskovyj lesnoj ryhlitel' [Disc forest ripper]. Aktual'nye napravlenija nauchnyh issledovanij XXI veka: teorija i praktika = Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. 2015; 2-1(13-1): 60-64. DOI: <https://doi.org/10.12737/10019>.

10. Lysych M. N., Shabanov M. L., Ikonnikov R. V. Imitacionnoe modelirovanie processa raboty diskovogo ryhlitelja v uslovijah lesnoj vyrubki [Simulation modeling of disc ripper operation process in forest clearcutting conditions]. Aktual'nye napravlenija nauchnyh issledovanij XXI veka: teorija i praktika = Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. 2015; 5-1(16-1): 230-233. DOI: <https://doi.org/10.12737/14494>.

11. Lysych M. N., Shabanov M. L., Ikonnikov R. V. Issledovanie rabocheho processa lesnogo diskovogo ryhlitelja s ispol'zovaniem sredstv SAPR [Study of forest disk ripper working process using CAD tools]. Sovremennye naukoemkie tehnologii = Modern knowledge-intensive technologies. 2016; 12-2: 263-268. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27706691>.

12. Shabanov M. L., Lysych M. N., Ikonnikov R. V. Perspektivnye konstrukcii lesnyh diskovyh ryhlitelej [Promising designs of forest disk rippers]. Sovremennye naukoemkie tehnologii = Modern knowledge-intensive technologies. 2016; 12-1: 92-97. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27706662>.

13. Nikonov M. V. K voprosu o sozdanii kombinirovannyh pochvoobrabatyvajushhih orudij dlja realizacii resursosberegajushhih tehnologij [To the question of creation of combined tillage implements for realization of resource-saving technologies]. Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Michurinsk State Agrarian University. 2014; 4: 55-57. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22251704>.

14. Shanin I. I., Lysych M. N. Jeffektivnye orudija i mehanizirovannye tehniczeskie ustrojstva, primenjaemye pri profilaktike i tushenii lesnyh pozharov [Effective tools and mechanized technical devices used in prevention and suppression of forest fires]. Uspehi sovremennogo estestvoznanija = Advances in modern natural science. 2018; 12-2: 403-410. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36971898>.

15. Starovojtov S.I. Osobennosti diskovyh pochvoobrabatyvajushhih orudij [Features of disk tillage implements]. Problemy jenergoobespechenija, informatizacii i avtomatizacii, bezopasnosti i prirodopol'zovanija v APK = Problems of energy supply, informatization and automation, safety and environmental management in the agro-industrial complex. 2014; 210-215. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25222460>.

16. Maljukov S. V., Lysych M. N., Buhtojarov L. D., Pozdnjakov E. V., Gnusov M. A., Shavkov M. V., Petkov A. F. Analiz diskovyh rabochnyh organov lesnyh pochvoobrabatyvajushhih orudij [Analysis of disc working elements of forest tillage implements]. Lesotehniczeskij zhurnal = Forestry journal. 2023; 2 (50): 128–141. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2023.2/7>.

17. Shavkov M. V., Maljukov S. V., Boglov A. V., Maljukova M. A., Aksenov A. A. Analiz konstrukcii i raboty osnovnyh tipov diskovyh orudij [Analysis of design and operation of the main types of disc implements]. Povyshenie jeffektivnosti lesnogo kompleksa: Materialy Devjatoj Vserossijskoj nacional'noj nauchno-prakticheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem, Petrozavodsk, 02 maja 2023 goda. – Petrozavodsk: Petrozavodskij gosudarstvennyj universitet [Increasing the efficiency of forest complex : Proceedings of the Ninth All-Russian National Scientific and Practical Conference with International Participation, Petrozavodsk, May 02, 2023. - Petrozavodsk: Petrozavodsk State University]. 2023; 186-187. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54735395>.

18. Posmet'ev V. I., Nikonov V. O., Savinkov M. A., Snjatkov E. V. Perspektivy razrabotki rekuperativnogo navesnogo mehanizma traktora s prisposobleniem dlja agregatirovanija ego s lesnymi diskovymi orudijami [Prospects of development of recuperative tractor linkage with a device for its aggregation with forest disk implements]. Problemy jekspluatcii i perspektivy razvitija avtomobil'nogo transporta : Materialy Vserossijskoj nauchno-tehniczeskoj

konferencii, Voronezh, 05–06 oktjabrja 2023 goda. Otv. redaktor V.O. Nikonov. – Voronezh: Voronezhskij gosudarstvennyj lesotekhnicheskij universitet im. G.F. Morozova [Problems of operation and prospects of development of motor transport : Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference, Voronezh, October 05-06, 2023 / Editor-in-Chief V.O. Nikonov. - Voronezh: Voronezh State Forest Engineering University named after G.F. Morozov. G.F. Morozov]. 2023: 101-111. DOI: https://doi.org/10.58168/OPPRTD_101-111.

19. Kovalev V. G. Puti povyshenija jeffektivnosti ispol'zovanija diskovyh orudij [Ways to improve the efficiency of disc implements utilization]. Innovacionnye reshenija v tehnologijah i mehanizacii sel'skohozjajstvennogo proizvodstva: Sbornik nauchnyh trudov. – Gorki : Belorusskaja gosudarstvennaja sel'skohozjajstvennaja akademija [Innovative solutions in technologies and mechanization of agricultural production : Collection of scientific papers. - Gorki : Belarusian State Agricultural Academy]. 2023; 168-170. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54804022>.

20. Rodionov K. Ju., Galljamov F. N. Obosnovanie konstrukcii diskovogo pochvoobrabatyvajushhego orudija [Justification of disc tillage tool design]. Agropromyshlennyj kompleks v uslovijah sovremennoj real'nosti: Sbornik trudov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Tjumen', 01 marta 2023 goda. – Tjumen': Gosudarstvennyj agrarnyj universitet Severnogo Zaural'ja [Agroindustrial complex in the conditions of modern reality : Proceedings of the international scientific-practical conference, Tyumen, March 01, 2023. - Tyumen: State Agrarian University of the Northern Trans-Urals]. 2023: 152-158. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53812919>.

21. Raabe D. S., Begunov M. A., Koval' V. S. [i dr.] Analiz diskovyh orudij dlja poverhnostnoj obrabotki pochvy [Analysis of disc implements for surface tillage]. Sovremennoe nauchnoe znanie v uslovijah sistemnyh izmenenij : materialy Pjatoj nacional'noj nauchno-prakticheskoj konferencii, Tarskij filial FGBOU VO Omskij GAU, 02–03 ijunja 2021 goda. – Omsk: Omskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni P.A. Stolypina [Modern scientific knowledge in the conditions of system changes : materials of the Fifth National Scientific and Practical Conference, Tarskiy branch of FGBOU VO Omsk GAU, June 02-03, 2021. - Omsk: Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin]. 2021: 136-145. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46544756>.

22. Raabe D. S., M. A. Begunov, V. S. Koval' [i dr.] Sravnitel'nyj analiz diskovyh orudij [Comparative analysis of disk implements Comparative analysis of disk implements]. Perspektivnye tehnologii v agrarnom proizvodstve: chelovek, "cifra", okruzhajushhaja sreda (AgroProd 2021) : Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Omsk, 28 ijulja 2021 goda. – Omsk: Omskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni P.A. Stolypina [Perspective technologies in agricultural production: human, “digital”, environment (AgroProd 2021) : Materials of the international scientific-practical conference, Omsk, July 28, 2021. - Omsk: Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin]. 2021: 321-326. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46657014>.

23. Evchenko A. V. K voprosu ob ispol'zovanii orudij s shestiuhol'nymi diskovymi rabochimi organami pri vozdeľyvanii sel'skohozjajstvennyh kul'tur [On the use of implements with hexagonal disk working tools in crop cultivation]. Prioritetnye diskussii XXI veka: mezhdisciplinarnye issledovanija sovremennosti : Materialy XIX Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Rostov-na-Donu, 25 maja 2019 goda. – Rostov-na-Donu: Juzhnyj universitet (IUBiP) [Priority discussions of the XXI century: interdisciplinary studies of modernity : Proceedings of the XIX All-Russian Scientific and Practical Conference, Rostov-on-Don, May 25, 2019. - Rostov-on-Don: Southern University (IUBiP)]. 2019: 338-340. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43817530>.

24. Kurdjumov V. I., Zykin E. S., Gavrilova V. E. Obosnovanie diametra diskovogo ryhlitelja orudija dlja prikatyvanija pochvy [Justification of the diameter of the disc ripper of the soil consolidation tool]. Vestnik Ul'janovskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii = Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2018; 2(42): 13-17. DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2018-2-13-17>.

25. Hudikov V. Ju., Konovalov S. I., Konovalova O. V. Grebnistost' dna borozdy pri rabote diskovyh orudij i sposoby ee snizhenija [Furrow bottom ridging during disc implements operation and ways to reduce it]. Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa : Sbornik statej po materialam 73-j nauchno-prakticheskoj konferencii studentov po itogam NIR za 2017 god, Krasnodar, 25 aprelja 2018 goda / Otvetstvennyj za vypusk A.G. Koshhaev. –

Krasnodar: Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni I.T. Trubilina [Scientific support of agro-industrial complex : Collection of articles on the materials of the 73rd scientific-practical conference of students on the results of research and development for 2017, Krasnodar, April 25, 2018 / responsible for the issue A.G. Koschayev. - Krasnodar: Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin]. 2018: 421-423. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35434542>.

26. Sojunov A. S., Chupin P. V., Prokopov S. P. [i dr.] Sovershenstvovanie rabochih organov diskovyh pochvoobrabatyvajushhih orudij [Improvement of working bodies of disk tillage implements]. Nauchnoe i tehicheskoe obespechenie APK, sostojanie i perspektivy razvitija : Sbornik materialov Nacional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii, Omsk, 06 aprelja 2017 goda. – Omsk: Omskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni P.A. Stolypina [Scientific and technical support of agroindustrial complex, state and prospects of development : Collection of materials of the National Scientific and Practical Conference, Omsk, April 06, 2017. - Omsk: Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin]. 2017: 126-131. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29971587>.

27. Priporov E. V., Marushko R. S. Analiz diskovyh orudij dlja poverhnostnoj obrabotki pochvy [Analysis of disc implements for surface tillage]. Izvestija Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia of the Orenburg State Agrarian University. 2017; 5(67): 112-115. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30547783>.

28. Berezhnov N. N. Obosnovanie nominal'noj moshhnosti jenergosredstva pri agregirovanii s diskovym pochvoobrabatyvajushhim orudiem po rezul'tatam dinamometrirovaniya agregata [Justification of nominal power of the power tool at aggregation with disc tillage tool according to the results of dynamometry of the machine]. Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agrarian University. 2017; 5(151): 163-170. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29220916>.

29. Lysych M. N. Analiz konstrukcij diskovyh rabochih organov pochvoobrabatyvajushhih orudij i vozmozhnostej ih primeneniya v uslovijah lesnyh vyrubok [Analysis of designs of disc working bodies of soil tillage implements and possibilities of their application in conditions of forest clearings]. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern problems of science and education. 2014; 6: 209. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22877233>.

30. Druchinin D. Ju., Popikov P. I., Zhizhko V. I. [i dr.] Povyshenie kachestva osnovnoj obrabotki pochvy lesnymi diskovymi orudijami [Improving the quality of basic tillage with forest disk implements]. Aktual'nye napravleniya nauchnyh issledovanij XXI veka: teorija i praktika = Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice. 2015; 9-2(20-2): 133-136. DOI: <https://doi.org/10.12737/16450>.

31. Mutingi M., Dube P., Mbohwa C. A modular product design approach for sustainable manufacturing in a fuzzy environment. Procedia Manufacturing. 2017: 471-478. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.02.060>.

32. Machindra A. R., Raheman H. Investigations on power requirement of active-passive combination tillage implement. Engineering in agriculture, environment and food. 2017; 1: 4-13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eaef.2016.06.004>.

33. Petrov A. M. et al. Justification of optimal design and technological parameters of needle discs of the combined working body. Bio web of conferences. – EDP Sciences. 2020: 00016. DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700016>.

34. Dzhabborov N. I., Dobrinov A. V., Eviev V. A. Evaluation of the energy parameters and agrotechnical indicators of aggregate for deep subsurface tillage. Journal of Physics: Conference Series. – IOP Publishing. 2019: 1: 012036. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1210/1/012036>.

35. Grechishkina Y. I. et al. Influence of cultivation technologies of agricultural crops with the use of machines and tools of domestic and foreign production for the dry area of the South of Russia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing. 2019; 5: 052030. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/315/5/052030>.

36. Kalinin A. B. et al. Improving the efficiency of the soil uncompaction by the cultivator-subsoiler through the use of digital systems for working depth control. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing. 2021; 3: 032061. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032061>.

37. Aldoshin N. et al. Development of combined tillage tool for melon cultivation, In Proceedings: 19th International Conference on Engineering for Rural development. Jelgava. 2020. DOI: <https://doi.org/10.22616/ERDev.2020.19.TF175>.

38. Storozhuk T. et al. Substantiation of the disk soil-cultivating tool parameters for all forms of farming. E3S Web of Conferences. – EDP Sciences. 2023: 06012. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202339006012>.

39. Kukharets S., Golub G., Biletskii V., Medvedskiyet O. Substantiation of the parameters of the disk-knife working body and the study of its work. Research in Agricultural Engineering. 2018; 4: 195-201. DOI: <https://doi.org/10.17221/87/2017-rae>.

40. López-Vázquez A., Cadena-Zapata M., Campos-Magaña S., Zermeño-Gonzalez A., Mendez-Dorado. M. Comparison of energy used and effects on bulk density and yield by tillage systems in a semiarid condition of Mexico. Agronomy. 2019; 9 (4): 189. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/agronomy9040189>.

41. Almaliki S. Simulation of draft force for three types of plow using response surface method under various field conditions. Iraqi Journal of Agricultural Sciences. 2018; 49(6): 1123-1124. DOI: <https://doi.org/10.36103/ijas.v49i6.151>

Сведения об авторах

✉ *Князев Александр Геннадьевич* – аспирант, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5139-0374>, e-mail: Knjazv-sasha@rambler.ru.

Гончаров Дмитрий Александрович – аспирант, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Российская Федерация, ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-4997-9929>, e-mail: magistrdmitriy@gmail.com.

Information about the authors

✉ *Alexander G. Knyazev* – postgraduate student, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5139-0374>, e-mail: Knjazv-sasha@rambler.ru.

Dmitry A. Goncharov – postgraduate student, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh, 394087, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4997-9929>, e-mail: magistrdmitriy@gmail.com.

✉ Для контактов | Corresponding author