



Эволюция проектирования рабочих органов почвообрабатывающих машин

Дмитрий Владимирович Попов,
ведущий инженер,
e-mail: nano.otdel@mail.ru;
Денис Александрович Миронов,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: nano.otdel@mail.ru;

Юлия Сергеевна Ценч,
доктор технических наук, доцент,
член-корреспондент Российской академии наук,
главный научный сотрудник,
e-mail: vimasp@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. В статье представлен системный и многоаспектный анализ историко-инженерной эволюции проектирования рабочих органов почвообрабатывающих машин в период от зарождения земледелия до современных высокотехнологичных решений. (*Цель исследования*) Раскрыты закономерности развития конструктивных подходов, начиная с ремесленного изготовления простейших земледельческих орудий на основе эмпирического опыта, до формирования научно обоснованных методов расчета и проектирования, основанных на достижениях механики, материаловедения и агрофизики. (*Материалы и методы*) Показано, что внедрение новых материалов с повышенными эксплуатационными характеристиками, а также переход к применению инженерных расчетов и виртуального моделирования (CAD/CAE/CAM) стали основой для перехода от универсальных к адаптивным и интеллектуальным конструкциям. (*Результаты и обсуждение*) Подчеркнута роль цифровизации в обеспечении надежности, энергоэффективности и экологической устойчивости современных рабочих органов для почвообрабатывающих машин. Анализ выявил различия советской инженерной школы и зарубежного опыта в подходах к проектированию. Подчеркнута роль научных школ и исследовательских институтов в формировании теории резания почвы и расчетов тягового сопротивления. Достижения в области упрочнения рабочих органов включают методы термической и вибрационной обработки, наплавки и покрытия на основе твердых сплавов. Эти технологии рассматриваются как неотъемлемая часть инженерного развития конструкции, а не как отдельное направление. Отражены современные тренды в проектировании: применение технологии цифровых двойников, параметрической геометрии, технологий точного земледелия и искусственного интеллекта. Также затронуты вопросы экологизации, устойчивого земледелия и климатической адаптации конструкций. (*Выводы*) Сделан вывод о необходимости междисциплинарного подхода в проектировании, объединяющего агрономию, машиностроение, материаловедение и цифровые технологии.

Ключевые слова: почвообрабатывающие машины, проектирование, рабочие органы, инженерный анализ, CAD/CAE, цифровой двойник, стандартизация, интеллектуальные системы, история техники.

■ **Для цитирования:** Попов Д.В., Миронов Д.А., Ценч Ю.С. Эволюция проектирования рабочих органов почвообрабатывающих машин // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. №3. С. 66-73. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-3-66-73. EDN: IQPDGE.

Scientific article

Evolution in the Design of Working Tools for Tillage Machines

Dmitry V. Popov,
leader engineer,
e-mail: nano.otdel@mail.ru;
Denis A. Mironov,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: nano.otdel@mail.ru;

Yulia S. Tsench,
Dr.Sc.(Eng.), associate professor, corresponding member
of the Russian Academy of Sciences, chief researcher,
e-mail: vimasp@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. This paper presents a systematic, multidimensional analysis of the historical and engineering evolution in the design of working tools for tillage machines, covering the period from the origins of agriculture to contemporary high-tech solutions.

(Research purpose) The study identifies developmental patterns in design approaches, tracing the transition from artisanal production of basic agricultural implements, based on empirical knowledge, to the emergence of scientifically grounded methods of calculation and design, built on the advances in mechanics, materials science, and agrophysics. *(Materials and methods)* The research demonstrates that the introduction of new materials with improved performance characteristics, combined with the shift toward engineering calculations and virtual modeling (CAD/CAE/CAM), laid the foundation for the transition from universal to adaptive and smart design solutions. *(Results and discussion)* The study highlights the role of digitalization in improving the reliability, energy efficiency, and environmental sustainability of modern tillage machine components. It identifies key differences between the Soviet engineering school and international design methodologies. The paper underscores the contribution of scientific schools and research institutes to the development of soil-cutting theory and draft resistance calculations. Progress in the hardening of working tools is illustrated through the use of thermal and vibrational treatments, surfacing techniques, and coatings based on hard alloys. These technologies are presented not as isolated processes, but as integral components of the broader evolution in engineering design. Contemporary design trends are examined, including the application of digital twin technology, parametric geometry, precision agriculture technologies, and artificial intelligence. The study also addresses issues related to environmental sustainability, climate-adaptive engineering solutions, and sustainable agricultural practices. *(Conclusions)* The study concludes that an interdisciplinary approach is essential for the effective design of tillage implements, integrating agronomy, mechanical engineering, materials science, and digital technologies.

Keywords: tillage machines, design, working tools, engineering analysis, CAD/CAE, digital twin, standardization, intelligent systems, history of technology

■ **For citation:** Popov D.V., Mironov D.A., Tsench Yu.S. Evolution in the design of working tools for tillage machines. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N3. 66-73 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-3-66-73. EDN: IQPDGE.

Почвообрабатывающие машины функционируют в условиях интенсивного механического воздействия, при котором рабочие органы испытывают значительные переменные нагрузки. Эти нагрузки оказывают существенное влияние на долговечность и эксплуатационную надежность узлов. Поскольку технологические параметры рабочих органов определяют агротехнические показатели обработки почвы, задача повышения их ресурса и обеспечения устойчивой работоспособности приобретает приоритетное значение. В этой связи ключевой научной проблемой является обоснование эффективности методов упрочнения, основанное на комплексном анализе и совершенствовании технологий повышения износостойкости рабочих органов почвообрабатывающих машин.

Исследования в области развития технических способов упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин способствуют решению вопросов повышения ресурса, прочности и эффективности рабочих органов сельскохозяйственных машин и могут привести к значительному увеличению урожайности [1] и снижению затрат [2].

Однако эволюция проектирования рабочих органов для обработки почвы включает множество аспектов, помимо прочности и износостойкости. В развитии конструкции этих орудий прослеживаются переход от эмпирических методов к научному анализу, постоянное совершенствование материалов и форм, а также интеграция рабочих органов в состав сложных машинно-технологических комплексов. Анализ исторических этапов развития

в области проектирования рабочих органов позволяет выявить ключевые достижения и закономерности, что имеет практическое значение для дальнейшего совершенствования сельскохозяйственной техники.

Цель исследования – проследить этапы развития проектирования рабочих органов почвообрабатывающих машин.

Материалы и методы. В работе использовался хронологический метод исследований. Изучались научно-технические и информационные источники, в которых отражены вопросы проектирования рабочих органов почвообрабатывающих машин. На основе анализа и обобщения рассмотренных материалов формировались выводы.

Результаты и обсуждение. История сельскохозяйственной техники насчитывает тысячелетия. Эволюция орудий для обработки земли оказала значительное влияние на развитие земледелия и общества. От простейших ручных сошников и мотыг до современных автоматизированных агрегатов прослеживается постепенный переход от ремесленных навыков к инженерным методам проектирования.

Ранний этап развития (до XVII века)

В цивилизациях Древнего Востока (Двуречье, Египет, Китай) применялись простейшие земледельческие орудия – ручные мотыги и примитивные сошники, позже появились первые плуги. Изначально плуги изготавливались из дерева, а ключевые части укреплялись камнем или металлическими наконечниками по мере развития металлургии.

В период античности и Средневековья конструкция плуга постепенно совершенствовалась: например, в Европе к VIII–IX вв. получил распространение тяжелый колесный плуг с железным лемехом и деревянным отвалом, существенно улучшивший обработку плотных почв. Вплоть до XVII столетия проектирование рабочих орудий оставалось в основном эмпирическим процессом: знания передавались от мастера к мастеру, а усовершенствования внедрялись преимущественно методом проб и ошибок, без систематического научного подхода или теоретического осмысления.

Формирование основ инженерного проектирования (XVIII–XIX вв.)

Период XVIII–XIX веков ознаменовался переходом от ремесленного подхода к научно обоснованному проектированию рабочих органов почвообрабатывающих машин. Этот процесс был обусловлен промышленным прогрессом, развитием технических наук и потребностями интенсификации сельского хозяйства [3].

Промышленная революция, начавшаяся в Европе в середине XVIII в., способствовала внедрению в аграрное производство новых материалов и технологий. Развитие металлургии позволило отказаться от деревянных и чугунных орудий в пользу стальных, что существенно повысило надежность и производительность сельскохозяйственных машин.

Ключевым событием стало изобретение в 1837 г. американским кузнецом Джоном Диром первого коммерчески успешного стального плуга (рис. 1). Его конструкция включала полированный отвал из высококачественной стали, который обеспечивал эффективную работу в условиях тяжелых и липких почв прерий Среднего Запада США. Плуг сам очищался от налипающей земли, что стало техническим прорывом своего времени [4].



Рис. 1. Стальной плуг John Deere
Fig. 1. John Deere steel plow

Во второй половине XIX столетия в проектировании сельскохозяйственных машин стали применяться элементы научного анализа. Конструкторы начали учитывать физико-механические свойства почв, характеристики тягового усилия, оптимальные углы установки рабочих органов и другие параметры, определяющие эффективность обработки. В трудах немецких, французских и российских специалистов рассматривались задачи расчета сопротивления почве, форм отвалов и геометрии лемехов, предлагались методы определения наилучшей формы плужного отвала, обеспечивающей оборот пласта с минимальными энергозатратами.

Во второй половине XIX в. начали формироваться специализированные машиностроительные предприятия и проектные бюро, сельскохозяйственные орудия выпускались уже промышленными партиями. Это привело к стандартизации деталей и переходу от кустарного изготовления к серийному производству машин. Примером может служить британская компания *Ransomes, Sims & Jefferies*, которая с 1870-х годов выпускала различные модели плугов и борон, проектируемых на основе инженерных расчетов. Их каталоги включали чертежи, технические параметры и рекомендации по применению в зависимости от типа почвы, что свидетельствует о возросшем уровне систематизации знаний [5].

Развитие полиграфии и рост интереса к аграрной технике способствовали появлению специализированных технических журналов и справочников. В них публиковались методики расчетов, результаты испытаний, чертежи и схемы новых машин. Это стимулировало формирование инженерной культуры и развитие научных школ в области агроинженерии. В России подобные публикации начали появляться в изданиях Императорского вольного экономического общества, а также в трудах Московского и Санкт-Петербургского политехнических институтов, где закладывались основы отечественной аграрной механики.

Советский и зарубежный опыт проектирования (XX век)

XX столетие стало периодом масштабного развития теории и практики проектирования сельскохозяйственных машин. В это время формируются научные школы, создаются отраслевые НИИ и конструкторские бюро, разрабатываются новые методы расчета и испытания рабочих органов, внедряются элементы автоматизации проектирования (рис. 2). Развитие идет параллельно в СССР и за рубежом, с собственными особенностями подходов, но при общей тенденции к научному, системному проектированию.

В Советском Союзе процесс индустриализации 1920–1930-х годов вызвал стремительную механи-

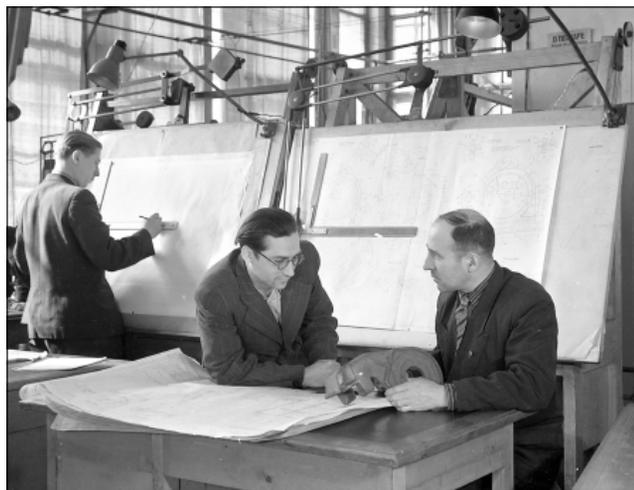


Рис. 2. Конструкторское бюро
Fig. 2. Design bureau

зацию сельского хозяйства, что потребовало массового выпуска почвообрабатывающей техники. Были созданы отраслевые научно-исследовательские институты ВИСХОМ (рис. 3), ВНИИПТИМЭСХ, ВНИИТИМЭСХ и др., конструкторские бюро и машиностроительные заводы. Работы по проектированию рабочих органов велись в рамках пятилетних планов и основывались на результатах агрофизических исследований. Внедрялись методы аналитического и графического расчета параметров рабочих органов, учитывались особенности почв различных зон СССР.



Рис. 3. Всесоюзный научно-исследовательский институт сельскохозяйственного машиностроения имени В.П. Горячкина (ВИСХОМ)
Fig. 3. All-Union Scientific Research Institute of Agricultural Machinery (VISHOM)

Особое внимание уделялось следующим направлениям: оптимизация формы лемеха и отвала для различных типов пахоты; разработка противоэрозийных рабочих органов; расчет глубины обработки и тягового сопротивления в зависимости от типа почвы; стандартизация конструкций для широкого применения в колхозах и совхозах.

В 1950-1970-х годах широкое распространение получил плуг ПЛН-3-35 (рис. 4), разработанный в рамках ГОСТов и типовых методик расчета. Его конструкция была адаптирована для средней полосы России и обеспечивала надежную работу при агрегатировании с тракторами класса 1,4. Проектирование таких машин базировалось на расчетах тягового сопротивления, энергоемкости обработки и долговечности рабочих органов [6].



Рис. 4. ПЛН-3-35
Fig. 4. PLN-3-35 plow

В странах Западной Европы и США проектирование сельскохозяйственной техники активно развивалось на базе частных компаний и университетов. Крупнейшие производители – *John Deere, Massey Ferguson, Case IH, Kverneland* создавали мощные инженерные отделы и использовали экспериментально-аналитические методы разработки. Характерными чертами зарубежного подхода были: тесная связь с фермерской практикой; выпуск машин для конкретных агроклиматических условий; интенсивные испытания в полевых условиях; применение модульного проектирования и унификации узлов; активное внедрение гидравлических и пневматических приводов в рабочих органах.

Примером инновационного подхода является плуг с отвальной поверхностью переменного профиля, разработанный в 1970-х годах норвежской компанией *Kverneland*. Он позволял менять геометрию обработки в зависимости от условий почвы и глубины.

Во второй половине XX в. активно развивались научные исследования взаимодействия рабочих органов с почвой. В СССР была создана теория резания почвы (работы Н.Н. Дубровина, С.П. Дьякова) [7], велись расчеты энергозатрат и усилий при обработке грунта [8]. Зарубежные специалисты, такие как Эдвард Фини (*Edward Finney*, США), вели исследования по оптимизации углов атаки и формы режущих кромок. Несмотря на идеологическую изоляцию времен «холодной войны», обмен инженерной информацией происходил через международные выставки, научные конференции и публикации в специализированных изданиях (например, *Journal of Agricultural Engineering Research*) [9].

Современные подходы к проектированию рабочих органов

В XXI веке проектирование рабочих органов почвообрабатывающих машин перешло на качественно новый уровень благодаря развитию цифровых технологий, совершенствованию материалов и глобализации научно-технического обмена. Современные конструкторские практики опираются на принципы системной инженерии, моделирования, энергоэффективности и адаптивности к разнообразным агроусловиям.

Одним из главных достижений современной инженерии стало широкое применение программных комплексов (рис. 5) для автоматизированного проектирования (CAD), анализа (CAE) и производства (CAM). Это позволяет: создавать трехмерные модели рабочих органов с высокой степенью детализации; проводить численное моделирование процессов взаимодействия с почвой (методы конечно-элементного анализа – FEM); оптимизировать геометрию деталей на основе симуляций нагрузки, износа и сопротивления.

Примером может служить моделирование процессов резания почвы с использованием ANSYS, SolidWorks Simulation, Autodesk Inventor, позволяющее до начала изготовления предсказать распределение напряжений в лемехе или отвале.

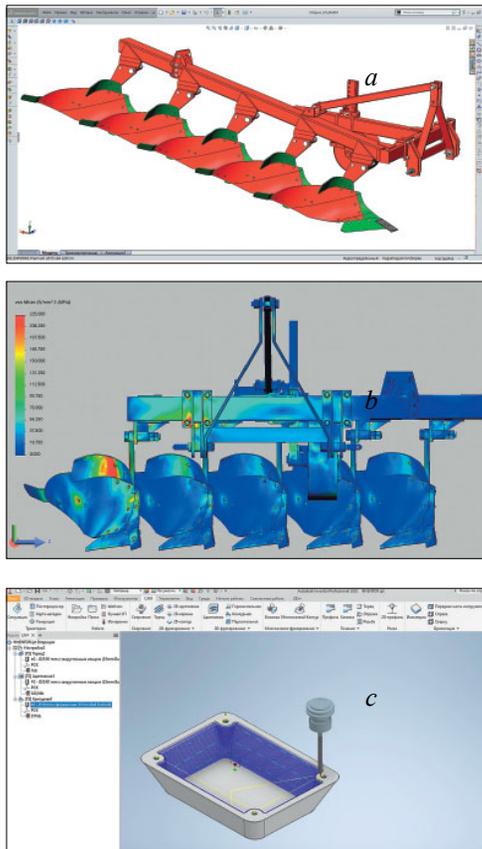


Рис. 5. Модель в CAD (a), CAE (b) и CAM (c) программе
Fig. 5. Model created using CAD (a), CAE (b) and CAM (c) software

В настоящее время рабочие органы изготавливаются из высокопрочных сталей и композитов. Применяются современные технологии упрочнения: лазерная наплавка и плазменная наплавка износостойких слоев; термомеханическая обработка для повышения твердости и вязкости; покрытия на основе нитридов и карбидов, увеличивающие срок службы в 2-3 раза по сравнению с традиционными методами; использование армированных сплавов и керамических вставок в зонах интенсивного износа. Также метод карбо-вибродугового упрочнения позволяет значительно увеличить ресурс рабочих органов за счет формирования износостойкого поверхностного слоя [10, 11].

Особое внимание уделяется повышению ремонтпригодности рабочих органов. Современные конструкции предусматривают модульную замену наиболее изнашиваемых элементов (лемехов, ножей, наконечников).

Компьютерное моделирование агрофизических процессов сейчас стало неотъемлемой частью проектирования рабочих органов. Используются как инженерные модели разрушения грунта (в том числе нелинейные модели, учитывающие анизотропию почвы), так и дискретные модели (метод дискретных элементов – DEM) для имитации взаимодействия рабочих органов с частицами почвы (рис. 6). Кроме того, применяются агроэкологические модели, учитывающие процессы эрозии, влажностный режим и уплотнение почвы при обработке. На основе таких моделей обосновываются оптимальные формы и параметры рабочих органов – геометрия режущих кромок, углы атаки, конфигурация рабочих поверхностей под различные технологии обработки (сплошная вспашка, щелевая, ленточная и т.д.).

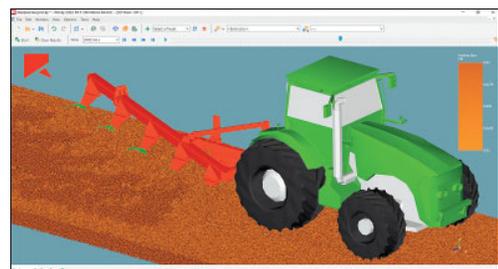


Рис. 6. Модель в программе DEM
Fig. 6. Model created using DEM (Discrete Element Method) software

Один из передовых трендов в проектировании почвообрабатывающих машин – использование технологии цифрового двойника рабочего органа. Технология цифрового двойника представляет собой создание виртуальной модели орудия, синхронизированную с реальными данными, поступающими с датчиков в ходе эксплуатации. Такой подход позволяет: адаптировать в режиме реального времени параметры работы орудия (глубину, угол атаки, ско-

рость) под изменяющиеся условия; прогнозировать износ деталей и предсказывать момент наступления отказа; осуществлять индивидуальную настройку сельхозмашины под особенности конкретного поля. Ведущие мировые производители (*CLAAS, John Deere, KUHN* и др.) интегрируют рабочие органы в состав интеллектуальных систем земледелия: с помощью сенсорных комплексов техника «видит» состояние почвы и автоматически регулирует глубину обработки, давление на почву, угол атаки и другие параметры в режиме реального времени [12].

В последние годы при проектировании все большее значение, наряду с производительностью, имеют экологические аспекты: снижение степени уплотнения почвы при проходе техники; предотвращение водной и ветровой эрозии на обработанных полях; сохранение биологической активности и структуры верхнего плодородного слоя. Соответственно, разрабатываются более «щадящие» рабочие органы: плоскорезы, чизельные рыхлители, дисковые орудия с регулируемым углом атаки, которые минимизируют переворачивание пласта. Подобные решения соответствуют концепциям нулевой обработки почвы и консервационного земледелия [13], требующим принципиально нового подхода к конструкции орудий [14].

Перспективы развития проектирования рабочих органов почвообрабатывающих машин

Проектирование рабочих органов почвообрабатывающих машин в ближайшие десятилетия будет развиваться под влиянием глобальных технологических, экологических и аграрных трендов. На первый план выходят задачи цифровизации, индивидуализации, устойчивости и интеграции в агроэкосистемы. Перспективные направления охватывают как методы проектирования, так и функциональные качества самих рабочих органов.

Ожидается, что алгоритмы искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения будут все шире использоваться при проектировании. Они позволят: автоматически оптимизировать конструкцию орудий на основе анализа большого объема компьютерных симуляций и накопленных эмпирических данных; прогнозировать поведение машины и качество обработки в различных агрофизических условиях; распознавать состояние почвы в процессе работы и мгновенно подстраивать параметры рабочего органа. Искусственный интеллект в перспективе станет не просто инструментом анализа, но одним из соавторов проектных решений, предлагая нетривиальные конструкторские решения на основе обобщения больших данных.

Набирает силу подход, при котором форма рабочих органов конструируется по аналогии с природными структурами, устойчивыми к нагрузкам и износу. К примеру, разрабатываются плужные поверх-

ности, имитирующие форму когтей животных или корней растений, способные эффективно рыхлить грунт. Такой бионический дизайн позволяет: снизить сопротивление почвы при врезании орудия; улучшить крошение и перемешивание почвы без увеличения энергозатрат; повысить износостойкость детали при минимальном расходе материала. Одновременно развивается параметрический (алгоритмический) дизайн – методика, при которой геометрия рабочего органа задается уравнениями с настраиваемыми параметрами. В результате инженер может быстро генерировать множество вариантов конструкции и адаптировать форму под конкретные условия поля или требования агротехнологии.

Будущее принадлежит интеллектуальным рабочим органам, оснащенным сенсорами и активными приводами с изменяемыми характеристиками. Такие орудия смогут автоматически регулировать глубину и режим обработки на ходу, избегать чрезмерного уплотнения почвы за счет контроля нагрузки, передавать данные о процессе обработки в цифровую модель поля в режиме реального времени. Ведутся разработки по внедрению в рабочие органы электромеханических приводов, инерциальных датчиков, сенсоров влажности и плотности почвы, а также технологий дифференцированного внесения (*VRT – Variable Rate Technology*). «Умные» рабочие органы станут элементами системы точного земледелия, позволяя реализовать адаптивное управление процессом обработки почвы прямо во время выполнения полевых работ.

В условиях нарастающих климатических проблем (засухи, деградация почв, экстремальные осадки) усиливаются тренды на без: минимальные и щадящие обработки почвы вместо глубокого вспашки; создание многофункциональных рабочих органов (например, совмещающих рыхление почвы с одновременным внесением удобрений); разработку специализированных машин для органического и точного земледелия. В этом контексте рабочие органы будут проектироваться с учетом минимального вмешательства в структуру почвы и сохранения гумусового слоя [15]. Устойчивость к климатическим стрессам и бережное отношение к почвенным ресурсам станут обязательными критериями эффективности новой агротехники.

Инженерное проектирование все более полно переходит в цифровую среду, формируя интегрированные платформы, объединяющие: средства 3D-моделирования изделий; агрономические базы данных и геоинформационные системы; системы моделирования жизненного цикла изделия (*PLM-платформы*); современные производственные технологии (аддитивное производство, цифровое литье и т.д.) [16]. Такие единые цифровые экосистемы позволят проектировать рабочие органы, адаптиро-

ванные под потребности конкретного пользователя, конкретное поле и даже конкретный сезон эксплуатации в рамках концепции индивидуализированного машиностроения. Ожидается, что в будущем конструктор будет работать не с отдельными программами, а в едином информационном пространстве, где проект автоматически учитывает агротехнические требования, материалы, технологию изготовления и условия эксплуатации.

Выводы. Проведен хронологический анализ этапов развития проектирования рабочих органов почвообрабатывающих машин. Рассмотрены современные тренды в проектировании.

Советская инженерная школа внесла значительный вклад в теоретическое и прикладное развитие проектирования, особенно в части стандартизации,

эргономики и ресурсосбережения. Зарубежные производители, в свою очередь, активно внедряли практико-ориентированные методы и инновационные материалы, обеспечивая высокий уровень индивидуализации техники.

Современный этап характеризуется синтезом этих направлений. Применение цифрового моделирования, искусственного интеллекта, бионического дизайна и новых материалов открывает возможности создания более эффективных, адаптивных и экологически устойчивых рабочих органов. Перспективы проектирования рабочих органов почвообрабатывающих машин напрямую связаны с развитием «умного» земледелия, что требует междисциплинарного подхода, объединяющего инженерию, агрономию, информатику и экологию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Слинко Д.Б., Денисов В.А., Добрин Д.А. и др. Повышение эффективности технологии упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин электродуговой наплавкой износостойкими валиками // *Технический сервис машин*. 2020. N1 (138). С. 176-185. DOI: 10.22314/2618-8287-2020-58-1-176-185.
- Ожегов Н.М., Добринов А.В., Ружьев В.А. Исследования методов упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих машин и разработка автоматической установки для нанесения на них упрочняющих покрытий // *Современные наукоёмкие технологии*. 2017. N3. С. 28-31. EDN: YIZVJR.
- Зайцева Н.Л., Алдошин Н.В., Рябова Н.Ю. Страницы истории агроинженерного образования России в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // *Известия ТСХА*. 2021. N4 С.149-169. DOI: 10.26897/0021-342X-2021-4-149-169.
- John Deere [Электронный ресурс]. *Encyclopædia Britannica*. 2025. URL: <https://www.britannica.com/biography/John-Deere> (дата обращения: 19.05.2025).
- Васильева И.Л. Историческая эволюция проектирования // *Вестник Полесского государственного университета. Серия общественных и гуманитарных наук*. 2014. N1. С. 50-55. EDN: THPJFJ.
- Шипунова О.Д., Березовская И.П., Денисков А.В. Эволюция принципов проектирования взаимодействий в профессиональной среде // *Вестник науки Сибири*. 2018. N2(29). С. 34-47. EDN: XVQUUH.
- Кочергин А.С., Псюкало С.П. Восстановление и упрочнение рабочих органов сельскохозяйственных орудий // *Молодая наука аграрного Дона: традиции, опыт, инновации*. 2021. N 5. С. 31-34. EDN: FSKRNM.
- Ценч Ю.С., Миронов Д.А., Попов Д.В. Развитие методов упрочнения почвообрабатывающих рабочих органов // *Технический сервис машин*. 2024. Т. 62. N4. С. 154-164. DOI: 10.22314/2618-8287-2024-62-4-154-164.
- Шапарина О.Н., Карасева А.О. История развития машиностроения Подмосковья в школьных учебниках и пособиях // *Посткризисный мир и модернизация современной науки: концепции, проблемы, решения; сб. VII Междунар. науч.-практ. конф.* 2021. С. 139-144. EDN: LMNZHZ.
- Титов Н.В., Петриков И.А., Кондрахин Н.А. Применение метода карбовибродугового упрочнения для повышения ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин // *Агротехника и энергообеспечение*. 2015. N1(5). С. 130-137. EDN: XCBGPH.
- Лобачевский Я.П., Миронов Д.А., Миронова А.В. Основные направления повышения ресурса быстроизнашиваемых рабочих органов сельскохозяйственных машин // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. N1. С. 41-50. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-1-41-50.
- Сидоров С.А., Лискин И.В., Миронов Д.А. и др. Повышение работоспособности стрелчатых лап культиваторов // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. N4 (37). С. 44-50. EDN: TCORQW.
- Лялякин В.П., Огородник И.А. Из истории развития сервиса машин // *Технический сервис машин*. 2019. N2 (135). С. 198-207. EDN: ZYQZLF.
- Козырев А. Ю., Ключков А. Я. История развития систем проектирования // *Технические науки: традиции и инновации: матер. I Междунар. науч. конф. Челябинск: Два комсомольца*, 2012. С. 64-66. URL: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/6/1575/>.
- Дубровин В.А., Левчук Н.С. Перспективы дифференциации основной обработки почвы // *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2001. N2. С. 32-34. EDN: ECNYSL.
- Ценч Ю.С., Миронов Д.А., Пыжов В.В. Развитие методов восстановления деталей тракторных двигателей // *Технический сервис машин*. 2025. Т. 63. N1. С. 102-110. DOI: 10.22314/2618-8287-2025-63-1-102-110.

REFERENCES

1. Slinko D.B., Denisov V.A., Dobrin D.A. et al. Improving the efficiency of hardening of tillage machine working bodies by arc surfacing using wear-resistant rollers. *Machinery Technical Service*. 2020. N1 (138). 176-185 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2020-58-1-176-185.
2. Ozhegov N.M., Dobrinov A.V., Ruzhev V.A. Investigations of methods of strengthening the working organs of tillage machines and the development of an automatic plant for applying hardening coatings on them. *Modern High Technologies*. 2017. N3. 28-31 (In Russian). EDN: YIZVJR.
3. Zaitseva N.L., Aldoshin N.V., Ryabova N.Yu. Development stages of domestic agroengineering education in Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2021. N4.149-169 (In Russian). DOI: 10.26897/0021-342X-2021-4-149-169.
4. John Deere [Electronic resource]. *Encyclopædia Britannica*. 2025. URL: <https://www.britannica.com/biography/John-Deere> (date of reference: 05/19/2025).
5. Vasilyeva I.L. The historical evolution of design. Bulletin of Polesky State University. Series in social sciences and humanities. 2014. N1. 50-55 (In Russian). EDN: THPJFJ.
6. Shipunova O.D., Berezovskaya I.P., Deniskov A.V. Evolution of principles of interaction design in professional environment. *Siberian Journal of Science*. 2018. N2(29). 34-47 (In Russian). EDN: XVQUUH.
7. Kochergin A.S., Psyukalo S.P. Restoration and strengthening of working organs of agricultural implements. *Young science of the agrarian Don: traditions, experience, innovations*. 2021. N5. 31-34 (In Russian). EDN: FSKRNM.
8. Popov D.V., Mironov D.A., Tsench Yu.S. Development of methods for strengthening soil-cultivating working bodies. *Machinery Technical Service*. 2024. Vol. 62. N4. 154-164 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2024-62-4-154-164
9. Shaparina O.N., Karaseva A.O. The history of the development of mechanical engineering in the Moscow region in school textbooks and manuals. *The post-crisis world and the modernization of modern science: concepts, problems, solutions*. 2021. C. 139-144 (In Russian). EDN: LMNZHZ.
10. Titov N.V., Petrikov I.A., Kondrakhin N.A. Application of vibroarc hardening for increasing resource of tillers's working organs. *Agrotechnics and Energy Supply*. 2015. N1(5). 130-137 (In Russian). EDN: XCBGPH.
11. Lobachevskiy Ya.P., Mironov D.A., Mironova A.V. Increasing the operating lifetime of wearable working bodies of agricultural machines. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023. Vol. 17. N1. 41-50 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-1-41-50.
12. Sidorov S.A., Liskin I.V., Mironov D.A. et al. Improving the workability of the lancet paws of a cultivator. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*. 2019. N4 (37). 44-50 (In Russian). EDN: TCORQW.
13. Lyalyakin V.P., Ogorodnik I.A. From the history of the development of service machines. *Machinery Technical Service*. 2019. N2 (135). 198-207 (In Russian). EDN: ZYQZLF.
14. Kozyrev A.Yu., Klochkov A.Ya. History of design systems development. *Technical sciences: traditions and innovations*. 2012. C. 64-66 (In Russian). URL: <https://moluch.ru/conf/tech/archive/6/1575/>.
15. Dubrovin V.A., Levchuk N.S. Prospects of differentiation of basic tillage. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2001. N2. 32-34 (In Russian). EDN: ECNYSL.
16. Tsench Yu.S., Mironov D.A., Pyzhov V.V. Development of methods for restoring tractor engine parts. *Machinery Technical Service*. 2025. Vol. 63. N3. 102-110 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2025-63-1-102-110.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Попов Д.В. – сбор и анализ материалов по теме исследования, подготовка статьи;

Миронов Д.А. – обработка данных;

Ценч Ю.С. – научное руководство, формирование задач исследования.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Popov D.V. – collection and analysis of materials on the research topic, preparation of an article;

Mironov D.A. – data processing;

Tsench Yu.S. – scientific guidance, formation of research tasks

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию

Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on

The paper was accepted for publication on

03.06.2025

31.07.2025