

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. ЭКОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИИ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ4

Павлюшин В.А. Биологическая защита растений и повышение конкурентоспособности растениеводческой продукции в интенсивном растениеводстве, закрытом грунте и органическом земледелии.....4

Старовойтов В.И., Манохина А.А., Старовойтова О.А., Бызов В.А., Воронов Н.В. Эффективность технологии переработки топинамбура на сироп и особо чистый инулинсодержащий порошок22

Нефедов В.В. Архитектоника и структура куста смородины чёрной и возможное прикладное значение34

Безух Е.П., Зыков А.В., Юнин В.А. Вертикальные и горизонтальные формировки яблони в интенсивных маточно-черенковых садах.....51

Абалихин А.М., Барабанов Д.В., Крупин А.В., Муханов Н.В. Оптимизация режима работы центробежного измельчителя при измельчении овса.....61

РАЗДЕЛ 2. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АПК74

Зейнетдинов Р.А. Оценка эффективности радиаторов поршневых двигателей методом неравновесной термодинамики74

Перцев С.Н., Муравьев К.Е. Логистический подход в технической эксплуатации сельскохозяйственного транспорта86

Литвинов П.В. Снижение выбросов монооксида углерода в силовых установках малогабаритной сельскохозяйственной техники при использовании модифицированного поршня.....99

Саночкин А.С., Свистула А.Е., Брякотин М.Э., Медведев Г.В. Увеличение эффективности двигателя постоянной мощности с комбинированным наддувом для сельскохозяйственной техники112

РАЗДЕЛ 3. ЭКОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИИ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ.....130

Романов А.С. Экономическая эффективность биоферментационной установки камерного типа для переработки побочной продукции животноводства.....130

РАЗДЕЛ 1. ЭКОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИИ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

Аналитическая статья

УДК 632: 631.145

DOI 10.24412/2713-2641-2025-4125-4-22

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ И ПОВЫШЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ РАСТЕНИЕВОДЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ В ИНТЕНСИВНОМ РАСТЕНИЕВОДСТВЕ, ЗАКРЫТОМ ГРУНТЕ И ОРГАНИЧЕСКОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

Владимир Алексеевич Павлюшин

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений (ВИЗР), Санкт-Петербург, Россия

vapavlyushin@vizr.spb.ru; <https://orcid.org/0000-0002-4727-8750>

Аннотация. Фитосанитарная безопасность агроэкосистем – необходимое условие для устойчивого растениеводства страны; выделяются две узловые технологические проблемы, а именно гарантированная прибавка урожая хорошего качества и достижение достаточного уровня экологической безопасности в агроэкосистемах. В решении обозначенного накоплены необходимые научно-обоснованные средства и технологии, прежде всего в области селекции сельскохозяйственных культур, агротехнических приемов, севооборотов, химической и биологической защиты растений от сорных растений, вредителей и болезней. Предложена концепция и разработана система биологической защиты овощных культур в закрытом грунте, с учетом новой парадигмы защиты растений и накопленного многолетнего опыта работ на ряде сельскохозяйственных культур. Концепция биологической защиты растений включает такие разделы как выявление природных ресурсов энтомофагов, энтомопатогенов и микробов-антагонистов; скрининг и селекция перспективных популяций и штаммов-продуцентов по признакам биологической активности на фитосанитарных объектах; лабораторные и опытно-промышленные технологии размножения энтомофагов и культивирования штаммов-продуцентов на искусственно питательной среде; заключительный раздел направлен на создание препаративной формы и правил эксплуатации систем биозащиты. Начиная с 2018 года ВИЗР совместно с ИАЭП – филиалом ФГБНУ ФНАЦ ВИМ получены материалы по биологической защите, агротехнике, подготовке почвы в органическом земледелии при возделывании картофеля на полевым исследовательском стационаре ИАЭП. На Белгородском полевым стационаре (Шебекинский район) и в Сибирском Федеральном научном центре агробиотехнологий РАН получены в 2022-2023 гг. материалы о снижении доли пестицидов (до 50%) и их замене защитными биопрепаратами для контроля болезней на пшенице, сое, кукурузе и других сельскохозяйственных культурах. Так, сравнительный анализ затрат на химическую, интегрированную и биологическую защиту ряда сельскохозяйственных культур от болезней выявил отчетливое снижение затрат на биологическую защиту озимой пшеницы, ячменя, подсолнечника, сои и люпина в условиях Белгородской области. Крайне важна, в рамках приоритетных направлений НИР, разработка новых систем биозащиты для закрытого грунта, органического земледелия, интегрированной защиты в интенсивном растениеводстве, что позволит нарастить площади сельскохозяйственных угодий с применением средств

биозащиты до 30-40%, а выпуск (производство) защитных биопрепаратов до 40 тыс. тонн в год.

Ключевые слова: концепция биологической защиты растений, фитосанитарная безопасность, растениеводческая продукция, закрытый грунт, органическое земледелие

Для цитирования: Павлюшин В.А. Биологическая защита растений и повышение конкурентоспособности растениеводческой продукции в интенсивном растениеводстве, закрытом грунте и органическом земледелии // АгроЭкоИнженерия. 2025. № 4 (125). С. 4-22 [https://doi.org/ 10.24412/2713-2641-2025-4125-4-22](https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-4125-4-22)

Scientific review

Universal Decimal Code 632: 631.145

BIOLOGICAL PLANT PROTECTION AND INCREASING THE COMPETITIVENESS OF CROP PRODUCTS IN INTENSIVE CROP GROWING, GREENHOUSES AND ORGANIC FARMING

Vladimir A. Pavlyushin

All-Russian Research Institute of Plant Protection (VIZR), Saint-Petersburg, Russia

vapavlyushin@vizr.spb.ru; [https://orcid.org/ 0000-0002-4727-8750](https://orcid.org/0000-0002-4727-8750)

Abstract. The phytosanitary safety of agricultural ecosystems is a crucial factor for sustainable crop production in this country. Two major technological challenges are identified in this regard. These are ensuring a guaranteed increase in high-quality crops and achieving an adequate level of environmental safety within agricultural ecosystems. The required research-based tools and methods have been developed to address these challenges. Their application is in the first place in crop breeding, agrotechnical practices, crop rotations, and in chemical and biological methods for weed, pest, and disease control. A concept and a system of biological protection of vegetable crops in protected horticulture has been developed. It takes into account the new paradigm of plant protection and the accumulated long-term experience on several agricultural crops. The concept of biological plant protection consists of several sections. First, identifying the natural resources of entomophages, entomopathogens and antagonist microbes. Secondly, screening and breeding of promising populations and producer strains based on biological activity traits at phytosanitary facilities. Then come laboratory and pilot industry-scale technologies for reproduction of entomophages and cultivation of producer strains on an artificially nutritious medium. The final section aims at creating a ready-made mixture of the active substance and auxiliary components and issuing the operating instruction for biosecurity systems. Since 2018, VISR, together with IEEP- branch of FSAC VIM, has received the research materials on biological protection, argotechnical methods, and soil preparation in organic potato cultivation on IEEP experimental fields. In 2022-2023, research materials were received at the Belgorod field study area (Shebekinsky District) and at the Siberian Federal Research Center of AgroBioTechnologies of the Russian Academy of Sciences on reducing up to 50% the share of pesticides and replacing them with protective biologics for disease control on wheat, soybeans, corn and other agricultural crops. Thus, a comparative analysis of the costs of chemical, integrated and biological disease control of

several agricultural crops revealed a clear reduction in the costs of biological protection of winter wheat, barley, sunflower, soybeans, and lupine in the Belgorod Region. The creation of new biosecurity systems for greenhouse horticulture, organic farming, and integrated protection in intensive crop production is of utmost importance within the priority research areas. This will enlarge the area of agricultural land using biosecurity products up to 30-40%, and increase the release (production) of protective biological products up to 40 thousand tons per year.

Keywords: the concept of biological plant protection, phytosanitary safety, crop production, indoor soil, organic farming.

For citation: Pavlushin V.A. Biological plant protection and increasing the competitiveness of crop production in intensive crop production, protected horticulture, and organic farming. *AgroEcoEngineering*. 2025; 4(125): 4-22 (In Russ.) [https://doi.org/ 10.24412/2713-2641-2025-4125-4-22](https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-4125-4-22)

Введение. В современной фитосанитарии требуется решение двух узловых технологических задач, а именно это гарантированная прибавка урожая с повышением его качества и достижение достаточного уровня экологической безопасности в агроэкосистемах. Об этом свидетельствует принятие в ряде стран (Германия, Россия, КНР и др.) соответствующих законов, направленных на сокращение химических обработок посевов, развитие биотехнологических приемов и средств в растениеводстве и модернизацию экологического, в т.ч. и фитосанитарного, мониторинга [1-4]. Происходит пересмотр и усиление фундаментальных и прикладных исследований в защите растений, определяющих фитосанитарную оптимизацию агроэкосистем, биоценотическое равновесие в агроценозах, селекцию генетически устойчивых сортов, разработку технологий интегрированной защиты сельскохозяйственных культур от вредителей, болезней и сорняков. Очевидно, направление НИР в части агроинженерной экологии тесно увязано с решением ряда фундаментальных проблем в интенсивном растениеводстве, органическом земледелии и растениеводстве закрытого грунта [5-7]. Необходимо делать ставку на создание и использование «цифровых технологий», т.е. компьютерных информационных систем в защите растений, больших баз данных, интеллектуальных систем управления в зональных системах защиты растений [8, 9].

Цель. Концепция и разработка систем биологической защиты сельскохозяйственных культур в закрытом грунте, интенсивном растениеводстве и органическом земледелии. Правила и эксплуатация систем биозащиты.

Материалы и методы. Драйвером в указанных направлениях биологизации фитосанитарии фактически является биологическая защита растений, под которой понимается совокупность защитных мероприятий с использованием устойчивых сортов, интродуцируемых энтомоакарифагов и биопрепаратов, реализуемая на основе фитосанитарного мониторинга и направленная на достижение биоценотического равновесия в агробиоценозе [10-12].

Важнейшее социальное и экономическое значение приобретает проблема получения экологически безопасной растениеводческой продукции. С позиции фитосанитарии здесь следует понимать минимизацию и гарантированное соблюдение нормативов по содержанию в урожае: остаточных количеств пестицидов, микотоксинов и других биологически активных веществ (БАВ) микробного происхождения и допустимого содержания нитратов и тяжелых металлов.

Следует подчеркнуть, что биопрепараты не требуют нормирования остатков (таблица 1) и не ухудшают обмен веществ по аскорбиновой кислоте, сахарам и нитратам (таблица 2).

Таблица 1. Экологически безопасная продукция (эколого-гигиенические нормативы пестицидов и биопрепаратов)

Table 1. Eco-safe crop products (according to environmental and hygiene regulations concerning pesticides and bio-preparations)

Препарат	Действующее вещество	Норма расхода, (кг, л/га)	Срок ожидания (дни)	Максимально допустимый уровень в продукции (мг/кг)
1. Би-58 Новый, КЭ (400 г/л)	диметоат (dimethoate)	0,6-1,0	30	не допускается
2. Битоксибациллин, П	<i>Bacillus thuringiensis</i>	1-30	5	0,1
3. Боверин, Ж	<i>Baeuveria bassiana</i>	10-30	1	нормирование не требуется
4. Вертициллин, Ж	<i>Verticillium lecanii</i>	1-1,5	3	нормирование не требуется
5. Лепидоцид, П	<i>Bacillus thuringiensis</i>	0,5-1,0	5	нормирование не требуется
6. Триходермин, Ж	<i>Trichoderma lignorum</i>	15-25	0	нормирование не требуется

Таблица 2. Влияние биопрепаратов на биохимические показатели плодов овощных культур
Table 2. Effect of bio-products on biochemical parameters of vegetable fruits

Наименование культур	Вариант опыта	Сухое вещество, %		Аскорбиновая кислота, мг%		Сахара, %		Нитраты, мг/кг	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Огурец	Контроль	6,7	6,9	2,4	2,6	1,35	1,69	87,5	108,7
	Г-9	7,5	7,7	2,0	2,8	1,46	1,84	69,3	107,5
	Р-21	7,0	7,0	2,6	2,8	1,57	1,92	38,5	58,4
	С-21	6,5	7,0	1,9	2,5	1,66	1,88	64,7	88,7
	Л-242	6,6	7,1	2,5	2,8	1,36	1,62	58,9	77,8
	АПС	6,7	7,0	2,6	3,0	1,44	1,69	102,7	134,5
Томат	Контроль	9,4	10,7	6,0	6,6	2,1	2,6	135,0	142,0
	Г-9	9,6	11,7	7,1	7,9	2,5	2,9	112,0	89,0
	Р-21	8,9	12,4	5,9	6,3	3,1	3,4	128,0	134,0
	С-21	9,4	13,0	7,6	8,1	2,9	3,5	68,0	112,0
	Л-242	9,6	10,5	5,9	7,7	2,6	2,8	124,0	69,0
	АПС	9,5	11,6	6,9	7,5	1,9	2,5	78,0	142,0

Перец	Контроль	11,7	12,4	4,5	6,0	2,4	2,5	232,0	178,0
	Г-9	12,6	13,5	6,8	7,0	2,6	2,5	192,0	166,0
	P-21	11,8	12,0	7,0	8,4	3,0	3,4	87,0	104,0
	S-21	11,6	13,6	5,6	6,7	2,8	3,4	52,0	38,0
	Л-242	12,4	14,0	5,0	5,5	2,7	2,9	112,0	116,0
	АПС	12,8	13,7	6,0	6,6	2,6	3,0	84,0	95,0

Примечание: обозначенные штаммы-продуценты (P-21; Л-242; S-21 и др.) не ухудшают обмен веществ по аскорбиновой кислоте, сахарам и нитратам.

Безусловно, фитосанитарные технологии и их внедрение, обеспечивающие получение экологически безопасной продукции (ЭБП), являются важнейшим элементом повышения её конкурентоспособности на рынке. Естественно, производство такой продукции требует соответствующего научного обеспечения, государственного регулирования, достаточного уровня экономической эффективности производства и др. В 2020 году мировые продажи органических продуктов питания достигли 120 млрд. евро; органическое земледелие практикуется в 190 странах [13].

В последние годы наблюдается модернизация законодательной базы для защиты растений с заметным трендом на снижение экотоксикологической нагрузки на сельскохозяйственные угодья. Так, в Российской Федерации в 2018 году принят Федеральный закон №280-ФЗ «Об органической продукции», действует Федеральный закон №7-ФЗ «Об охране окружающей среды», модернизирован Федеральный закон № 109-ФЗ «О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами». В 2021 году принят Федеральный закон № 159-ФЗ «О сельскохозяйственной продукции, сырье и продовольствии с улучшенными характеристиками».

В Китайской Народной Республике за последние 5 лет действуют общекитайские законы о сокращении объемов применения пестицидов, охране окружающей среды, о биологической защите.

В Указе Президента РФ № 145 от 28 февраля 2024 г. обращено внимание на рациональное применение химической и биологической защиты, интенсификацию исследований по созданию природоподобных технологий и средств, а также необходимость предусмотреть повышение уровня биобезопасности сельскохозяйственных угодий от преднамеренной интродукции особо опасных вредоносных объектов.

В качестве производственной модели биоценотической регуляции вредителей и болезней, как основы системы биозащиты, следует рассматривать накопленный многолетний опыт применения массоворазводимых энтомофагов и защитных биопрепаратов в закрытом грунте и на полевых культурах.

В России накоплен 90-летний опыт работ по использованию энтомопатогенов, микробов-антагонистов и энтомофагов в защите овощных, плодово-ягодных и других сельскохозяйственных культур от вредных насекомых, растительноядных клещей и болезней. Были проведены масштабные НИР в части биотехнологий на перспективных штаммах-продуцентах энтомопатогенной бактерии *Bacillus thuringiensis*, что позволило разработать и провести успешно государственные испытания таких биопрепаратов как энтобактерин, битоксибациллин, лепидоцид, дендробациллин, бацикол, бактоспеин и др. [14]. В 80-е годы прошлого столетия объемы годового производства бактериальных защитных биопрепаратов в СССР достигали 10-15 тыс. тонн, что давало возможность

успешно подавлять угрожающую численность насекомых-фитофагов на сельскохозяйственных культурах. Мировой ассортимент препаратов на основе *B. thuringiensis* насчитывает около 200 препаративных форм. Следующий глобальный пример успешной разработки и применения связан с энтомофагом трихограммой (род *Trichogramma* Westw.). В ВИЗР разработана технологическая документация (паспорта на отселектированные популяции), предложены регламенты применения на ряде сельскохозяйственных культур против вредных чешуекрылых, созданы регламенты разведения на промышленных биофабриках. Ежегодные объемы применения и использования трихограммы достигали более 10 млн. га, а интервал биологической эффективности на листовертках, совках, белянках, кукурузном мотыльке и других чешуекрылых вредителях оценивался в 40-70%. В Советском Союзе действовали около 300 биофабрик промышленного массового разведения трихограммы [15].

Кроме *B. thuringiensis* в защите растений большим спросом пользуются биопрепараты на основе бактерии антагониста *B. subtilis* (алирин Б, гамаир, витаплан, фитоспорин и другие). На сегодняшний день в России создано более 20 биопрепаратов для защиты сельскохозяйственных культур от болезней, а с учетом насекомых-фитофагов – 60.

Проблема биологической защиты растений в теплицах возникла в 70-80 годы XX века в связи с интенсивным наращиванием площадей закрытого грунта (в СССР около 15 тыс. га; в современной России около 5 тыс. га), распространением и резким обострением вредоносности оранжерейной белокрылки (*Trialeurodes vaporariorum*), а также трипсов, появлением резистентных популяций тлей и клещей. Значительные потери урожая овощных культур наблюдались от бактериозов, корневых гнилей, мучнистой росы и галловых фитонематод. Всего экономически значимых вредоносных видов около 22, что делает фитосанитарную обстановку в теплицах постоянно напряженной с многократными обработками (интродукциями).

Фитосанитарная оптимизация тепличных агроценозов выглядит как многофакторная ситуация, что учитывается при создании и эксплуатации систем биозащиты. Так, реализация концепции биологической защиты (рис. 1, 2) включает ряд узловых технологических решений для интенсивного растениеводства, органического земледелия и закрытого грунта. Крайне важно осуществлять фитосанитарное проектирование, включающее сорт устойчивого к доминантным вредителям и болезням, компьютеризованный мониторинг с использованием больших баз данных и анализом паразитоценозов и расчетом экономических порогов вредоносности (ЭПВ), фитосанитарную подготовку семенного и посадочного материала, анализ динамики численности особо опасных вредителей, болезней и сорняков, систему биозащиты с регламентом применения биопрепаратов, энтомофагов и других средств по каждой сельскохозяйственной культуре.



Рис. 1. Концепция биологической защиты растений

Fig. 1. Concept of biological pest and disease control

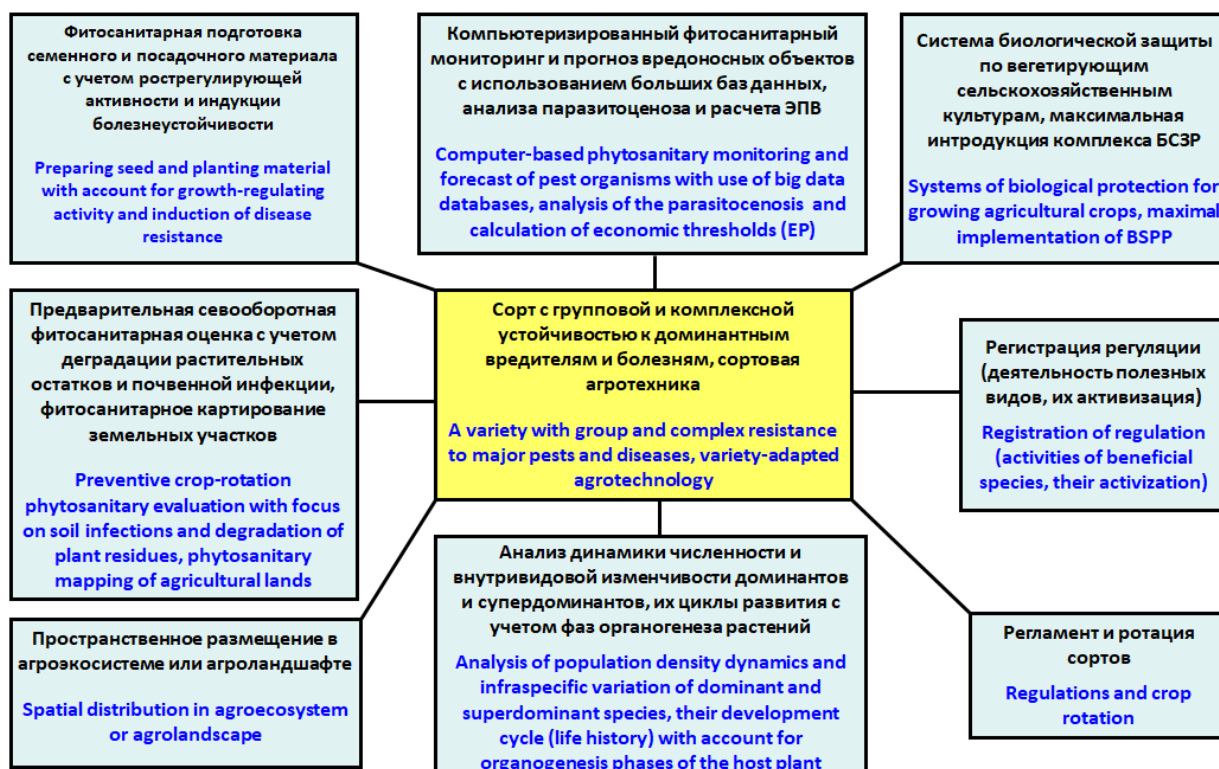


Рис. 2. Фитосанитарное проектирование и оптимизация агроэкосистем в органическом земледелии (сортовая агротехника и защита, системы биозащиты)

Fig. 2. Designing and optimization of agroecosystems to secure their phytosanitary safety in organic farming (crop variety-adapted agrotechnical methods, biological systems of plant protection)

Как следует из вышесказанного, ресурсная часть биологической защиты растений представлена защитными биопрепаратами, массово разводимыми энтомофагами, устойчивыми сортами и фитосанитарным мониторингом паразитоценоза.

По типу действия и целевым объектам выделяются три группы микробных средств защиты, а именно: биопрепараты на основе жизнеспособных спор штаммов-продуцентов, быстродействующих токсинных препаративных форм и полифункциональные биопрепараты на основе антагонистов и их метаболитов (таблица 3). Например, в состав последних входит гамаир, алирин Б, алирин С, планриз и другие.

Таблица 3. Микробиологические средства защиты растений

Table 3. Microbiological means of plant protection

• Биопрепараты инсектицидного типа действия на основе живых спор (лепидоцид, БТБ, боверин и др.) • Быстродействующие токсинные (метаболитные) препараты (фитоверм, алейцид, мелоден, индоцид, вертициллин-М) • Эпизоотийнодействующие биопрепараты (создание очагов инфекции; немабакт, микоафидин, вертициллин и др.) • Биопрепараты на основе антагонистов и их метаболитов (алирин-Б, гамаир, фитоспорин, глиокладин и др.)	• Bio-preparations of insecticidal action type, based on living spores (lepidocid, BTB, beauverin and others) • Fast-acting toxin (metabolite) preparations (Phytoverm, Aleicid, Meloden, Indocid, Verticillin-M) • Epizootics-causing biopreparations (development of infection focal points; nemabact, mycoaphidin, verticillin and others) • Biopreparations based on antagonistic microbes and their metabolites (alirin-B, gamair, phytosporin, gliocladin, and others)
---	---

В РФ в государственный каталог средств защиты сельскохозяйственных культур включено свыше 2 тысяч пестицидов, в том числе 57 биопрепаратов. Речь идет о средствах защиты, которые успешно прошли государственные испытания и имеют государственную регистрацию.

Всего в мире насчитывается более 450 средств микробиологической защиты растений, нарабатываемых в 7 крупных биотехнологических компаниях. В России это «Сиббиофарм» (мощность наработки 2-3 тыс. тонн в год), группа производств «Агробιοтехнология», выпускающих выше упомянутые защитные биопрепараты гамаир, алирин Б, стернифаг, витаплан – всего с участием ВИЗР создано 20 препаратов (рис. 3).

АЛИРИН-Б, СП
АЛИРИН-Б, ТАБ
АЛИРИН-Б, Ж
ГАМАИР, СП
ГАМАИР, ТАБ
ГАМАИР, КС
ГЛИОКЛАДИН, СУСП
ГЛИОКЛАДИН, ТАБ
ГЛИОКЛАДИН, СП
ГЛИОКЛАДИН, Ж
СТЕРНИФАГ, СП
ВИТАПЛАН, СП
ТРИХОЦИН, СП
Немабакт, ВС
Энтонем-Ф, ВС



ALIRIN-B, WP
ALIRIN-B, TAB
ALIRIN-B, L
GAMAIR, WP
GAMAIR, TAB
GAMAIR, EC
GLIOCLADIN, SUSP
GLIOCLADIN, TAB
GLIOCLADIN, WP
GLIOCLADIN, L
STERNIPHAG, WP
VITAPLAN, WP
TRICHOCIN, WP
NEMABACT, WS
ENTONEM-F, WS

Рис. 3. Регистрация биопестицидов

(ФГБНУ ВИЗР, ЗАО «Агробиотехнология», ООО «Биодан», Гос. Каталог пестицидов, 2020)

Fig. 3. Registration of biopesticides

(FSBSI VIZR, CJSC “Agrobiotechnology”, LLC “Biodan”, State Catalogue of Pesticides, 2020)

Совместно с КазНИИЗРиКР созданы новые микоинсектициды для подавления саранчовых (миколар В на основе гриба *Beauveria bassiana*; миколар М на основе гриба *Metarhizium anisopliae*). Биологическая активность в отношении перелетной саранчи, итальянского пруса и марокской саранчи достигает в условиях засушливых степей Казахстана 80-90% гибели вредителей. Государственные испытания миколаров явились основой для включения в список средств защиты растений в Казахстане (рис. 4).

- **Миколар В** (масляная суспензия спорового концентрата *Beauveria bassiana* с титром 1×10^{10} спор/г). Норма расхода препарата 5×10^{12} спор/га. Норма расхода рабочей жидкости – 5 л/га.
- **Миколар М** (масляная суспензия спорового концентрата *Metarhizium anisopliae* с титром 1×10^{10} спор/г). Норма расхода препарата 5×10^{12} спор/га. Норма расхода рабочей жидкости – 5 л/га.

Регистранты:

- ВИЗР
- КазНИИЗРиКР
- ЗАО «Агробиотехнология»

- **Mycolar B** (oil suspension of *Beauveria bassiana* spore concentrate with a titer of 1×10^{10} spores/g). Application rate 5×10^{12} spores/ha. Consumption rate of working fluid – 5 l/ha.
- **Mycolar M** (oil suspension of *Metarhizium anisopliae* spore concentrate with a titer of 1×10^{10} spores/g). Application rate 5×10^{12} spores/ha. Consumption rate of working fluid – 5 l/ha.

Registrants :

- VIZR
- Kazakhstan SRiKR
- CJSC “Agrobiotechnology”



Рис. 4. Новые микоинсектициды для снижения численности саранчовых

Fig. 4. New mycoinsecticides to control locusts

Механизм действия биопрепаратов на вредных насекомых и возбудителей болезней комплексный и включает ростстимулирующие эффекты на защищаемые растения, особенно в группе защитных биопрепаратов на основе микробов-антагонистов, индукции защитных реакций, а также синтеза энтомотоксинов, которые ускоряют гибель насекомых-вредителей от микозов. Производственные опыты с применением триходермина, глиокладина, стернифага, алиринов и других показали, что указанные средства защиты растений снижают распространенность и развитие болезней на 40-50%, ускоряют цветение и плодоношение на 7-10 дней и повышают урожайность, особенно на овощных культурах, до 50%.

Важно подчеркнуть и иметь в виду, что микробиологические средства защиты сельскохозяйственных культур от возбудителей болезней являются незаменимыми элементами в решении проблемы повышения супрессивности почвы, которая предусматривает ингибирование роста и развития почвенных фитопатогенных грибов и бактерий (pp. *Fusarium*, *Alternaria* и др.). Массированная интродукция обозначенных биопрепаратов в виде водных рабочих суспензий в почву и почвенные грунты повышает супрессивность. Снижение почвенного плодородия, наблюдаемое в ряде регионов, обусловлено снижением супрессивности, что связано с острым недостатком органических удобрений. Существуют аналогичные зарубежные препараты. Например, проф. К. Сойтонгом (Таиланд) разработан биопрепарат под названием Кетомиум для защиты растений от болезней. В его основе два вида аскомицетных грибов *Chaetomium cupreum* и *Ch. globosum* (12 штаммов); препаративная форма – гранулы. Эффективен против фитопфторовых грибов, фузариозной гнили, возбудителей из р. *Sclerotinia* и др. Штаммы-продуценты кетомиума синтезируют антибиотик кетоглобозин, который ингибирует целый ряд фитопатогенных грибов [16].

Значительный ресурс для систем биозащиты овощных культур от вредителей представляют биопрепараты на основе энтомопатогенных нематод, прежде всего немабакт (штамм-продуцент *Steinernema carpocapsae* “agriotos” и энтонем-F (штамм *St.feltiaeSRP-18*, ВИЗР) [17]. В производственных условиях получены высокие показатели биологической эффективности (до 90%) в отношении таких экономически значимых насекомых-фитофагов как капустные мухи на капусте, долгоносики на декоративных культурах, трипсы, сверчки, минирующие мухи на овощных в закрытом грунте. Особенно они значимы для поражения скрытноживущих вредителей в ходах, минах и в верхнем слое почвы; препаративная форма – водная суспензия инвазионных личинок нематод на пористом носителе.

Для контроля быстроразмножающихся насекомых на овощных культурах (белокрылки, тли, трипсы и др.) приемлемы также защитные биопрепараты на токсигенных штаммах энтомопатогенных грибов р. *Lecanicillium* [18, 19].

В биологизации защиты растений убедительно зарекомендовали себя энтомофаги – паразитические насекомые, массоворазводимые на биофабриках, а также относящиеся к природной фауне, жизненные циклы которых тесно связаны с насекомыми-фитофагами (вредителями). Практически в мире используются 230 видов энтомофагов из разных семейств перепончатокрылых, двукрылых, жесткокрылых и других. Для теплиц в России рекомендовано около 32 видов и отселектированных популяций; в основном, это представители фауны Дальнего Востока, Юго-Восточной Азии и Черноморского побережья Кавказа (таблица 4).

Таблица 4. Энтомофаги для защиты растений в тепличных комбинатах России
Table 4. Entomophagous arthropods used for plant protection in greenhouses of Russia

• <i>Amblyseius barkeri</i> • <i>Amblyseius cucumeris</i> • <i>Amblyseius swirskii</i> • <i>Aphidius colemani</i> • <i>Aphidius matricariae</i> • <i>Aphidoletes aphidimyza</i> • <i>Encarsia formosa</i> • <i>Harmonia dimidiata</i> • <i>Harmonia axyridis</i>	• <i>Lysiphlebus fabarum</i> • <i>Macrolophus nubilus</i> • <i>Micromus angulatus</i> • <i>Nesidiocoris tenuis</i> • <i>Orius laevigatus</i> • <i>Orius majusculus</i> • <i>Phytoseiulus persimilis</i>
Энтомофаги и технологии их применения внедрены в 35 тепличных хозяйствах Entomophages and their application technologies are introduced in 35 greenhouse complexes	

По ряду энтомофагов создана научно-технологическая документация (НТД), осуществлена объемная научно-производственная апробация в 35-и тепличных комбинатах страны. Предложены стандарты и методы оценки эффективности массового разведения и регламенты применения. В марте 2018 года запущена первая очередь проекта по массовому производству энтомофагов, а именно первый корпус новой биофабрики на территории особой экономической зоны Санкт-Петербурга, площадка Новоорловская (рис. 5, 6).

Внедрение технологий массового разведения энтомофагов

(НТД и патенты разработаны в ВИЗР)

Ассортимент – 30 видов и популяций селекции ВИЗР,

доставка по России – 24 часа

Мощность производства в 2019 г. - 12 000 гектарных норм в год

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ЭНТОМОЛОГИИ

INAPPEN
ИНАППЕН



Комитет по
промышленной политике
и инновациям Санкт-Петербурга

Проект одобрен в декабре 2017 г. на заседании Экспертного совета по особой экономической зоне технико-внедренческого типа в Санкт-Петербурге

In December 2017, the project was approved at the meeting of the Expert Council on the Special economic zone of technical innovation type in Saint-Petersburg

Implementation of technologies for mass rearing of entomophagous arthropods (scientific and technical documentation as well as patents are developed at VIZR)

Product range – 30 species and populations selected at VIZR,

Delivery in Russia – 24 hours

Production capacity in 2019 г. - 12 000 ha rates per year



Рис. 5. Инновационное производство энтомофагов в объемах, покрывающих потребности тепличных комбинатов РФ и ближнего зарубежья

Fig. 5. Innovative production of entomophagous arthropods at a scale covering the demand of greenhouse complexes in Russia and Russia's neighboring states



Рис. 6. Первый корпус новой биофабрики на территории особой экономической зоны Санкт-Петербурга, площадка Новоорловская (март 2018)

Fig. 6. The first building of new biofactory on the territory of special economic zone of Saint Petersburg, Novoorlovskaya Site (March, 2018)

Обсуждение. Таким образом, ресурсная часть биологической защиты, в части научного обеспечения, представлена достаточным уровнем разработок. Начиная с 2018 года совместно с ИАЭП – филиалом ФГБНУ ФНАЦ ВИМ получены объемные материалы по биологической защите, агротехнике, подготовке почвы в органическом земледелии при выращивании картофеля на полевом исследовательском стационаре ИАЭП [20]. Так, детально апробированы несколько защитных биопрепаратов, в том числе лабораторные образцы алирина-С, картофина, фитоlara и др., продемонстрирована эффективность добавки компоста биогума в почву (80 кг/га), что позволило выявить ростстимулирующий эффект на картофеле, получена прибавка качественного урожая с повышенной долей товарной фракции при хранении, а также снижение процента поражения болезнями (ризиктониоз, серебристая парша и др.), в том числе и фитофтороза. Биологическая эффективность картофина – нового биопрепарата на основе *B.subtilis* И5 в отношении указанных болезней достигает 55-90%, а хозяйственная эффективность увеличивается на 7-11% [21].

Учитывая возросшие фитосанитарные риски в закрытом грунте и органическом земледелии, а также на открытых сельскохозяйственных угодьях, где требуется биологическая защита растений, возникает необходимость в более строгом соблюдении ряда правил в разработке и применении систем биозащиты (рис. 1). Кроме фитосанитарного мониторинга с регистрацией биоценотического состояния в тепличном агробиоценозе, важно профилактическое (упреждающее) применение биопрепаратов с защитной и фиторегуляторной активностью для создания защитного паразитоценоза. Крайне важно совпадение оптимумов показателей микроклимата для реализации вирулентности штаммов-продуцентов с таковыми для роста и развития защищаемой культуры. Защитный эффект

достигается за счет одновременного действия комплекса биологических средств на популяции вредителей и возбудителей болезней. Требуется технологическая совместимость энтомофагов и биопрепаратов. Например, штаммы энтомопатогенного гриба *B.bassiana* – основы биопрепарата боверин – могут вызывать гибель от микоза около 30% личинок энтомофага *Chrysopa carnea* (златоглазки), особенно, когда обработка боверином осуществляется после выпуска златоглазки.

Успех в создании и применении систем биозащиты и интегрированной защиты определяется организацией инновационного процесса, который базируется на:

- завершенных НИР, прошедших научно-производственную апробацию и государственные испытания новых биопрепаратов, а также перерегистрацию проверенных биопрепаратов;
- наличии устойчивого рынка с дифференциацией цен на овощи и фрукты в зависимости от типов защиты растений, а также сертификатов на экологически качественную растительную продукцию;
- успешном сотрудничестве разработчика новых биопрепаратов с инвесторами в организации биотехнологических производств;
- на создании и применении наземного и дистанционного фитосанитарного мониторинга посевов и посадок, что определяет уровень затрат, эффективность защитных мероприятий и качество урожая [22, 23].

Особого внимания заслуживает роль и значение исследовательских полевых стационаров для изучения многофакторного влияния на структуру и качество урожая и смены определяющих факторов при изменении климата, в том числе «погодные качели».

В части фитосанитарии много информации получено на агроэкологическом стационаре в Каменной степи (НИИСХ ЦЧП им. В.В.Докучаева), на стационаре ВИУА (Подмосковье) по многофакторному анализу удобрений и средств защиты растений, а также на полевых стационарах СибНИИСХМ (в настоящее время Сибирский ФНЦ агробиотехнологий) и ФГБНУ ВИЗР (Белгородский полевой стационар ВИЗР – ООО «Агробиотехнология»), на Меньковском стационаре ФГБНУ АФИ. Так, на Белгородском полевом стационаре (Шебекинский район) и в Сибирском Федеральном научном центре агробиотехнологий РАН получены в 2022-2023 гг. убедительные материалы о снижении доли пестицидов (до 50%) и их замене защитными биопрепаратами (таблица 5) для контроля болезней ряда сельскохозяйственных культур (пшеница, соя, кукуруза и др.) [24, 25]. Так, сравнительный анализ затрат на химическую, интегрированную и биологическую защиту ряда сельскохозяйственных культур от болезней выявил меньшие затраты на озимой пшенице, ячмене, подсолнечнике, кукурузе, сое, люпине и картофеле биологической защиты, чем интегрированная и химическая в условиях Белгородской области. Например, затраты на биологическую защиту от болезней озимой пшеницы составили 1420 руб., а затраты на химическую и интегрированную защиту соответственно 2812 и 3008 руб. Окупаемость затрат в разрезе 7 обозначенных культур в пределах 6-8 рублей на 1 рубль затрат.

Таблица 5. Затраты на защиту растений от возбудителей болезней

Table 5. Costs of crop disease control

Наименование культур	Химическая защита		Интегрированная защита		Биологическая защита	
	Урожайность	Стоимость	Урожайность	Стоимость	Урожайность	Стоимость

	ь, ц/га	ь, руб	ь, ц/га	ь, руб	ь, ц/га	ь, руб
Озимая пшеница	70,4	2812	69	3008	67	1420
Яровой ячмень		2403		2757		1412
Подсолнечник		6888		7008		5422
Кукуруза		4803		5583		5583
Соя		8700	24	7291		5782
Люпин		7082	19	7291		5782
Картофель		5586		5743		3534

Выводы:

1. Уровень научного обеспечения по направлению «биологическая защита растений» удовлетворительный в части достижения гарантированной защиты урожая овощных, зерновых и картофеля с учетом накопленных данных в 80-е и 90-е годы прошлого столетия, а также за период 2000-2025 гг.

Продвинута научно-производственная апробация защитных биопрепаратов и массово-разводимых энтомофагов, о чем свидетельствует технологическая документация (биопрепараты, успешно прошедшие государственные испытания и включенные в Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории РФ; опубликованная система биологической защиты растений в закрытом грунте [26]; предложены для массового разведения и применения 35 видов и популяций энтомофагов, по 6 видам разработана НТД, что послужило основой для функционирования первой очереди крупнейшей биофабрики по производству энтомофагов в Санкт-Петербурге.

2. С учетом возрастающей численности особоопасных (35 видов) и экономически значимых (47 видов возбудителей болезней, 30 видов насекомых – всего 77 видов) фитосанитарных объектов в связи потеплением климата, нарастанием резистентных популяций насекомых-фитофагов и возбудителей болезней, нехваткой сортов с генетической устойчивостью, а также с необходимостью достижения достаточного уровня экологической безопасности в агроэкосистемах, токсикологическая нагрузка в зонах товарного производства зерна, плодовых и других нарастает и достигает более 10 кг/га. Вышеобозначенное приводит к недобору урожая более 30% и требует расширения в первую очередь ассортимента защитных биопрепаратов с 57 зарегистрированных до 150-200 единиц. Отсутствуют работы по созданию биопрепаратов против сорных растений (экономически значимых 23 вида), определяющих повышенную вредоносность.

3. Крайне важна разработка новых систем биозащиты для закрытого грунта, органического земледелия; интегрированной защиты для интенсивного растениеводства, что позволит нарастить площади сельскохозяйственных угодий с применением средств биозащиты с малой величины в 2% до 30-40%, что уже реальность в США (40%) и в ЕС (свыше 60%). Для этого в РФ необходимо увеличить выпуск биопрепаратов до 40000 тонн в год.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Павлюшин В.А. Актуальность биологизации защиты растений // Сельскохозяйственные вести. 2017. № 2 (109). С. 50-53. URL: <https://agri-news.ru/zhurnal/2017/22017/aktualnost-biologizaczii-zashhityi-rastenij/>
2. Павлюшин В.А., Новикова И.И., Бойкова И.В. Микробиологическая защита растений в технологиях фитосанитарной оптимизации агроэкосистем; теория и практика (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2020. № 55 (3). С. 421-438. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.3.421rus>
3. Павлюшин В.А., Белякова Н.А., Фролов А.Н. Новая парадигма защиты растений: важнейшие аспекты реализации // Сб. тезисов докладов XVI съезда Русского энтомологического общества (РЭО). М.: Т-во научных изданий КМК. 2022. С. 117. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6976546>
4. Павлюшин В.А. Роль микробиологической защиты сельскохозяйственных культур в биологизации фитосанитарных технологий в растениеводстве, закрытом грунте и органическом земледелии // Сб. тезисов докладов V Всероссийского конгресса по защите растений (Санкт-Петербург, 16-19 апреля 2024 г.). СПб.: ВИЗР. 2024. С. 217. URL: <https://www.spsl.nsc.ru/FullText/KONFE/vk-po-zashchite-rastenij-2024cont.pdf>
5. Федоренко В.Ф., Брюханов А.Ю., Захаров А.М., Мурзаев Е.А. Концептуальные основы развития органического производства сельскохозяйственной продукции // Техника и оборудование для села. 2024. № 1 (319). С. 2-7. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2024-1-2-7>
6. Захаров А.М., Устроев А.А., Мурзаев Е.А., Комоедов А.Д. Методы проектирования технологий органического производства продукции растениеводства // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2025. Т. 19. № 1. С. 13-21. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2025-19-1-13-21> <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2025-19-1-13-21>
7. Zakharov A.M., Minin V.B., Murzaev E.A., Mishanov A.P., Ivanov D.Y. Effect of deep loosening of inter-rows on physical properties of sod-podzolic soil and yield of organic potato // Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series. 2022. Vol. 60 (4). P. 372-379. URL: <https://vestiagr.belnauka.by/jour/article/viewFile/654/583>
8. Павлюшин В.А., Новикова И.И., Бойкова И.В. Перспективы и возможности микробиологической защиты растений для повышения уровня экологической безопасности в агроценозах (обзор) // Защита и карантин растений. 2022. №4. С. 10-18. https://doi.org/10.47528/1026-8634_2022_4_10
9. Угловский А.С., Семеренко Н.Ю. Автоматизированная система уничтожения сорных растений с использованием высоковольтного разряда и механизма обратной связи // АгроЭкоИнженерия. 2025. № 1(122). С. 104-119. <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-1122-104-119>
10. Сасова Н.А. Важная задача современности – оздоровление почв в биоценозах севооборота // Защита и карантин растений. 2025. № 3. С. 5-7. https://doi.org/10.47528/1026-8634_2025_3_5
11. Иващенко В.Г., Павлюшин В.А. Интенсификация растениеводства и эколого-продукционный баланс агроэкосистем снижения плодородия почв и фитосанитарная дестабилизация // Вестник защиты растений. 2017. № 3(93). С. 5-16. EDN: ZIFWNN

12. Павлюшин В.А., Вилкова Н.А., Сухорученко Г.И., Нефедова Л.И. Функционирование агробиоценозов и типы их отклика на антропогенные воздействия // Вестник защиты растений. 2016. № 4(90). С. 5-18. EDN: XWYYAL
13. Максимов Д.А., Валкама Е., Минин В.Б., Ранта-Корхонен Т., Захаров А.М. Подходы к освоению органического земледелия // АгроЭкоИнженерия. 2020. № 4 (105). С. 101-113. <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2020-10270>
14. Павлюшин В.А., Бойкова И.В., Новикова И.И. Штамм бактерии *Bacillus thuringiensis* для борьбы с колорадским жуком // Патент РФ № 2559548. 2015.
15. Сорокина А.П. Таксономические и биологические принципы оценки видов рода *Trichogramma* Westw. (Hymenoptera, Trichogrammatidae) как энтомофагов вредных насекомых // Автореферат дисс ... д-р биол. наук. 1991. 40 с.
16. Сойтонг К., Коломбет Л.В. Применение биопрепарата кетомиума для защиты растений от болезней // Агрохимия. 2003. № 9. С. 57-62. EDN: ONUCYV
17. Данилов Л.Г., Павлюшин В.А. Разработка и реализация инновационного проекта по созданию опытного производства биологических препаратов на основе энтомопатогенных нематод // Вестник защиты растений. 2019. № 2(100). С. 52-55. EDN: ISYMPB
18. Митина Г.В., Чоглокова А.А., Павлюшин В.А. Способ получения энтомопатогенного препарата // Патент РФ № 2421995. 2011.
19. Митина Г.В., Сокорнова С.В., Павлюшин В.А. Энтомопатогенный биопрепарат для защиты растений от вредителей и способ его получения // Патент РФ № 2487542. 2013.
20. Новикова И.И., Захаров А.М., Минин В.Б., Максимов Д.А., Титова Ю.А., Устроенов А.А., Хютти А.В., Мурзаев Е.А. Биологизация производства картофеля в условиях Северо-Западного региона РФ. СПб.: ИАЭП. 2024. 156 с. URL: <https://www.cnsnb.ru/content/2025/04433637.pdf>
21. Novikova I.I., Titova J.A., Minin V.B., Zakharov A.M., Krasnobaeva I.L., Murzaev E.A. Multirecycled polyfunctional biologics based on bacillus subtilis together with compost in potato organic farming multirecycled polyfunctional bacillus biologics in potato organic farming. Preprint. 2025. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4317900/v1>
22. Павлюшин В.А., Лысов А.К. Фитосанитарная безопасность агроэкосистем и дистанционный фитосанитарный мониторинг в защите растений // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 69-78. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-3-69-78>
23. Лысов А.К., Павлюшин В.А. Фитосанитарное проектирование агроэкосистем и дистанционное зондирование // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 5. С. 101-109. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-5-101-109>
24. Власенко Н.Г., Павлюшин В.А., Теплякова О.И., Кулагин О.В., Морозов Д.О. Эффективность защиты яровой пшеницы биопрепаратами и фунгицидами в лесостепи Приобья: I Первые результаты в экстремальных погодных условиях // Вестник защиты растений. 2021. № 104 (4). С. 202-212. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2021-104-4-15029>
25. Власенко Н.Г., Павлюшин В.А., Теплякова О.И., Кулагин О.В., Морозов Д.О. Эффективность защиты яровой пшеницы биопрепаратами и фунгицидами в лесостепи Приобья: II Особенности действия в условиях недостатка влаги // Вестник защиты растений. 2022. №105 (4). С. 181-192. <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2022-105-4-15357>

26. Павлюшин В.А., Иванова Г.П., Асякин Б.П., Корнилов В.Г., Белых Е.Б., Раздобурдин В.А., Гришечкина Л.Д., Красавина Л.П. Система биологической защиты овощных культур от вредителей и болезней в теплицах. СПб.: ВИЗР. 2001. 42 с.

REFERENCES

1. Pavlyushin V.A. The relevance of plant protection biologization. *Sel'skokhozyaistvennye vesti = Agricultural News*. 2017; 2 (109): 50-53. (In Russ.) URL: <https://agri-news.ru/zhurnal/2017/22017/aktualnost-biologizaczii-zashhityi-rastenij/>
2. Pavlyushin V.A., Novikova I.I., Boikova I.V. Microbiological control in phytosanitary optimization technologies for agroecosystems: research and practice (review). *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2020; 55 (3):421-438. (In Russ.) <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.3.421rus>
3. Pavlyushin V.A., Belyakova N.A., Frolov A.N. A new plant protection paradigm: key aspects of implementation. In: Abstract book of the 16th Congress of the Russian Entomological Society (Moscow, August 22-26, 2022). Moscow: KMK Scientific Press. 2022:117. (In Russ.) <https://doi.org/10.5281/zenodo.6976546>
4. Pavlyushin V.A. The role of microbiological protection of agricultural crops in the biologization of phytosanitary technologies in crop production, protected horticulture and organic farming. In: V All-Russian Congress on Plant Protection. Book of abstracts. Saint Petersburg: VIZR. 2024: 217. (In Russ.) URL: <https://www.spsl.nsc.ru/FullText/KONFE/vk-po-zashchite-rastenij-2024cont.pdf>
5. Fedorenko V.F., Bryukhanov A.Yu., Zakharov A.M., Murzaev E.A. Conceptual basis for the development of organic agricultural production. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area*. 2024;1 (319): 2-7. (In Russ.) <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2024-1-2-7>
6. Zakharov A.M., UstroeV A.A., Murzaev E.A., Komoedov A.D. Methods for designing technologies of organic crop production. *Sel'skokhozyaistvennye mashiny i tekhnologii = Agricultural Machinery and Technologies*. 2025;19 (1):13-21. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2025-19-1-13-21>
7. Zakharov A.M., Minin V.B., Murzaev E.A., Mishanov A.P., Ivanov D.Y. Effect of deep loosening of inter-rows on physical properties of sod-podzolic soil and yield of organic potato. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series*. 2022;60 (4): 372-379. (In Eng.) URL: <https://vestiagr.belnauka.by/jour/article/viewFile/654/583>
8. Pavlyushin V.A., Novikova I.I., Boikova I.V. Prospects and opportunities of microbiological plant protection for increasing level of ecological safety in agricultural plant communities (a review). *Zashchita i karantin rastenii = Plant Protection and Quarantine*. 2022; 4: 10-18. (In Russ.) https://doi.org/10.47528/1026-8634_2022_4_10
9. Uglovskii A.S., Semerenko N.Yu. Automated weed killing system using high voltage discharge and feedback mechanism. *AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering*. 2025;1(122):104-119. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-1122-104-119>
10. Sasova N.A. Important task of modernity - enhancing soil health in agro-ecosystems of crop rotation. *Zashchita i karantin rastenii = Plant Protection and Quarantine*. 2025;3:5-7. (In Russ.) https://doi.org/10.47528/1026-8634_2025_3_5
11. Ivashchenko V.G., Pavlyushin V.A. Crop production intensification and ecological production balance of agricultural ecosystems: the decline in soil fertility and phytosanitary

destabilization. Vestnik Zashchity Rastenii = Plant Protection News. 2017;3(93):5-16. (In Russ.) EDN: ZIFWHH

12. Pavlyushin V.A., Vil'kova N.A., Sukhoruchenko G.I., Nefedova L.I. Functioning of agrobiocenoses and types of their response to anthropogenic impacts. Vestnik Zashchity Rastenii = Plant Protection News. 2016;4(90):5-18. (In Russ.) EDN: XWYYAL

13. Maksimov D.A., Valkama E., Minin V.B., Ranta-Korhonen T., Zakharov A.M. Approaches to harnessing organic agriculture. AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering. 2020; 4 (105):101-113 (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2020-10270>

14. Pavlyushin V.A., Boikova I.V., Novikova I.I. Strain of *Bacillus thuringiensis* bacteria for control of the Colorado potato beetle. RF Patent No. 2559548. 2015. (In Russ.)

15. Sorokina A.P. Taxonomic and biological principles of assessment of species of the genus *Trichogramma* Westw. (Hymenoptera, Trichogrammatidae) as entomophages of harmful insects. Author's Abstract of Diss ... Doctor of Biology. 1991. 40 p. (In Russ.)

16. Soyton K., Kolombet L.V. Application of biological fungicide ketomium for plant disease control. Agrokhimiya = Agrochemistry. 2003;9:57-62. (In Russ.) EDN: ONUCYV

17. Danilov L.G., Pavlyushin V.A. Development and implementation of an innovative project to create a pilot production of biological preparations based on entomopathogenic nematodes Vestnik Zashchity Rastenii = Plant Protection News. 2019;2(100):52-55 (In Russ.) EDN: ISYMPB

18. Mitina G.V., Chogloкова A.A., Pavlyushin V.A. Method of obtaining an entomopathogenic drug. RF Patent No. 2421995. 2011. (In Russ.)

19. Mitina G.V., Socornova S.V., Pavlyushin V.A. Entomopathogenic biological product for plant protection from pests and the method of its preparation. RF Patent No. 2487542. 2013 (In Russ.)

20. Novikova I.I., Zakharov A.M., Minin V.B., Maksimov D.A., Titova Yu.A., Ustroyev A.A., Khety E.A. Biologization of potato production in the North-Western region of the Russian Federation. Saint Petersburg: IEEP. 2024. 156 p. (In Russ.) URL: <https://www.cnsnb.ru/content/2025/04433637.pdf>

21. Novikova I.I., Titova J.A., Minin V.B., Zakharov A.M., Krasnobaeva I.L., Murzaev E.A. Multirecycled polyfunctional biologics based on bacillus subtilis together with compost in potato organic farming multirecycled polyfunctional bacillus biologics in potato organic farming. Preprint. 2025. (In Eng.) <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4317900/v1>

22. Pavlyushin V.A., Lysov A.K. Phytosanitary safety of agro-ecological systems and remote phytosanitary monitoring in plant protection. Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa = Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space. 2019; 16(3): 69-78. (In Russ.) <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2019-16-3-69-78>

23. Lysov A.K., Pavlyushin V.A. Phytosanitary design of agroecosystems and remote sensing Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa = Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space. 2022;19 (5):101-109. (In Russ.) <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2022-19-5-101-109>

24. Vlasenko N.G., Pavlyushin V.A., Teplyakova O.I., Kulagin O.V., Morozov D.O. Protection of spring wheat with biopreparations and fungicides in the forest steppe of Priobye: I First results in extreme weather conditions. Vestnik Zashchity Rastenii = Plant Protection News. 2021; 104 (4):202-212. (In Russ.) <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2021-104-4-15029>

25. Vlasenko N.G., Pavlyushin V.A., Teplyakova O.I., Kulagin O.V., Morozov D.O. Protection of spring wheat with biopreparations and fungicides in the forest steppe of Priobye: II Activity under conditions of moisture deficiency. Vestnik Zashchity Rastenii = Plant Protection News 2022;105 (4):181-192. (In Russ.) <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2022-105-4-15357>

26. Pavlyushin V.A., Ivanova G.P., Asyakin B.P., Kornilov V.G., Belykh E.B., Razdoburdin V.A., Grishechkina L.D., Krasavina L.P. The system of biological protection of vegetable crops from pests and diseases in greenhouses. Saint Petersburg: VISR. 2001. 42 p. (In Russ.)

Об авторе	About the author
Павлюшин Владимир Алексеевич академик РАН, д-р биол. наук, главный научный сотрудник, Всероссийский институт защиты растений (ВИЗР), 196608, Россия, Санкт-Петербург, Пушкин, шоссе Подбельского, 3 info@vizr.spb.ru; vapavlyushin@vizr.spb.ru https://orcid.org/0000-0002-4727-8750	Vladimir A. Pavlyushin Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, All-Russian Institute of Plant Protection (VIZR), 3 Podbelskogo Highway, Pushkin, Saint Petersburg, 196608, Russia info@vizr.spb.ru; vapavlyushin@vizr.spb.ru https://orcid.org/0000-0002-4727-8750
Заявленный вклад автора Автор выполнил все функции проекта	Author's contribution Single author article - the author fulfilled all the functions in the project
Конфликт интересов Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов и несет ответственность за плагиат	Conflict of interest The author declares no conflict of interests and bears responsibility for plagiarism
Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи к публикации	The author has read and agreed to the published version of the manuscript
Статья поступила в редакцию: 19.10.2025	Received: 19.10.2025
Одобрена после рецензирования: 03.11.2025	Approved after reviewing: 03.11.2025
Принята к публикации: 11.11.2025	Accepted for publication: 11.11.2025

Научная статья

УДК 635.24: 631.5

DOI 10.24412/2713-2641-2025-4125-22-34

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ ТОПИНАМБУРА НА СИРОП И ОСОБО ЧИСТЫЙ ИНУЛИНСОДЕРЖАЩИЙ ПОРОШОК

Виктор Иванович Старовойтов¹, Александра Анатольевна Манохина^{2✉}, Оксана Анатольевна Старовойтова³, Василий Аркадьевич Бызов⁴, Николай Вячеславович Воронов⁵

^{1,3,4}Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха, Московская область, Россия

²Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

⁵Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург, Россия

¹agronir1@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9365-7631>

²alexman80@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9785-1164>

³agronir2@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8293-6579>

⁴byzov1966@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9365-7631>;

⁵7777777@mail.ru

Аннотация. Топинамбур, представляет собой мощное биоэнергетическое растение, обладающее уникальным химическим составом, характеризующимся высоким содержанием инулина. Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха осуществляет комплекс научно-исследовательских работ, направленных на разработку полного цикла экологически чистых технологий для клубневых культур. Топинамбур (*Helianthus tuberosus*) отличный источник ферментируемых сахаров, что дает растению потенциал для использования в качестве сырья для производства биоэтанола. Второй составляющей являются высококачественные корма для животных. Стебли топинамбура содержат значительное количество клетчатки для промышленного производства. Для медицины представляет интерес особо чистый инулин из топинамбура. С точки зрения минерализации, топинамбур превосходит такие корнеплоды, как картофель, морковь и свекла, по концентрации железа, кремния и цинка. Это делает его ценным объектом для исследований в области питания, особенно в контексте разработки функциональных продуктов. ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха в сотрудничестве с Исследовательским химико-аналитическим центром НИЦ «Курчатовский институт» активно разрабатывают инновационную технологию возделывания топинамбура, обогащенного эссенциальными элементами и антиоксидантами. Данная инициатива представляет собой значимый шаг в области агробиотехнологии и функционального питания, направленный на повышение биологической ценности сельскохозяйственной продукции и улучшение ее питательных свойств. В работе рассмотрены 3 варианта предприятий по возделыванию и переработке топинамбура и цикория, с разной глубиной переработки: первый вариант-выращивание и первичная переработка, заключающаяся в удалении почвы, инородных предметов, мойки и калибровки, фасовки и поставки в торговую сеть; второй вариант дополнен получением и реализацией сиропа из топинамбура; третий вариант дополнен получением порошка из клубней и корнеплодов. На примере топинамбура эти технологии реализованы при выращивании на площади 50 га и проведены экономические расчеты по выручке и доходу. Установлено, чем глубже переработка, тем большую можно получить прибыль, 24,05; 36,50 и 50,4 млн. рублей соответственно, что о повышении прибыли с углублением переработки.

Ключевые слова: топинамбур, клубни, инулин, диабет, порошок, сироп.

Для цитирования: Старовойтов В.И., Манохина А.А., Старовойтова О.А., Бызов В.А., Воронов Н.В. Эффективность технологии переработки топинамбура на сироп и особо чистый

Research article

Universal Decimal Code 635.24: 631.5

THE EFFECTIVENESS OF JERUSALEM ARTICHOKE PROCESSING TECHNOLOGY FOR SYRUP AND EXTRA PURE INULIN-CONTAINING POWDER

Victor I. Starovoitov¹, Aleksandra A. Manokhina^{2✉}, Oksana A. Starovoitova³, Vasil A. Byzov⁴, Nikolaj V. Voronov⁵

^{1,3,4}Lorkh Russian Potato Research Centre (RCPR), Moscow Region, Russia

²Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

⁵Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg, Russia

¹agronir1@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9365-7631>

²alexman80@list.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9785-1164>

³agronir2@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8293-6579>

⁴byzov1966@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9365-7631>;

⁵7777777@mail.ru

Abstract. Jerusalem artichoke is a plant with high bioenergy content and a unique chemical composition. It is characterized by a high concentration of inulin. The research efforts of the Lorkh Russian Potato Research Center focus on developing full-cycle, environmentally friendly technologies for the tuber crop cultivation. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) is an excellent source of fermentable sugars. This gives the plant the potential to be used as a raw material for bioethanol production. The second component is a high-quality animal feed. Jerusalem artichoke stalks contain a significant amount of fiber for industrial production. Especially pure Jerusalem artichoke inulin is of interest to medicine. As to mineralization, Jerusalem artichoke surpasses such root vegetables as potatoes, carrots and beets by iron, silicon, and zinc content. This makes it a valuable subject for nutrition research, especially in the context of functional product development. The Lorkh Russian Potato Research Center, in collaboration with the Research Chemical and Analytical Center of the National Research Center “Kurchatov Institute” actively develops an innovative technology for cultivating Jerusalem artichoke enriched with essential elements and antioxidants. This initiative represents a significant step in the field of agrobiotechnology and functional nutrition aimed at increasing the biological value of agricultural products and improving their nutritional properties. The paper discusses three types of enterprises involved in cultivation and processing of Jerusalem artichokes and chicory with different crop processing level. Type 1 enterprises have a primary processing that includes soil and foreign matter removing, washing, grading, packaging, and delivering to the retail network. Type 2 enterprises have a supplementary production and sale of Jerusalem artichoke syrup. Type 3 enterprises produce additionally the powder from tubers and root crops. Using Jerusalem artichoke as an example, these technologies have been implemented on an area of 50 hectare. The revenue and income were calculated. They established that the deeper is the processing, the greater is the profit – 24.05, 36.50 and 50.4 million rubles, respectively.

Keywords: Jerusalem artichoke, tubers, inulin, diabetes, powder, syrup

For citation. Starovoitov V.I., Manokhina A.A., Starovoitova O.A., Buzov V.A., Voronov N.V. The effectiveness of Jerusalem artichoke processing technology for syrup and extra pure inulin-containing powder. *AgroEcoEngineering*. 2025; 4(125): 22-34 (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-4125-22-34>

Введение. Как подсчитали эксперты ВОЗ к 2050 году число инсулин зависимых пациентов возрастет до почти полутора миллиардов. Данные исследования опубликованы в журнале *Lancet* [1]. По данным на 2024 год, в России зарегистрировано около 10,5-11 миллионов пациентов с сахарным диабетом (СД). Однако реальное число может быть выше из-за недиагностированных случаев (по данным Министерства здравоохранения РФ). Указ Президента РФ от 18.06.2024 № 529 утверждает Приоритетные направления научно-технологического развития (ПНТР) и перечни важнейших наукоемких технологий (ВНТ), среди которых есть «Технологии персонализированного, лечебного и функционального питания для здоровьесбережения».

Решить такую масштабную задачу непросто. Одним из наиболее эффективных средств профилактики диабета и снижения ожирения является употребление в пищу топинамбура и инулина. Для введения в практику топинамбура и инулина необходим системный подход управления процессами возделывания и переработки растениеводческой продукции на основе использования принципов полного цикла [2, 3, 4].

Цель работы – определить эффективную схему выращивания и переработки топинамбура. Поставленная задача требует создания систем селекции и семеноводства, производства сырья для продуктов здорового питания, производства продуктов питания и реализации. Часть задач уже решается: сформированы системы семеноводства, выращивания и переработки топинамбура в масштабах, которые могут обеспечить потребности России.

Глубокая переработка топинамбура открывает новые горизонты в области фармацевтики, позволяя разрабатывать инновационные лекарственные средства для лечения широкого спектра заболеваний. В частности, эти растения обладают значительным потенциалом в терапии сердечно-сосудистых патологий, хронических инфекционных процессов, синдрома хронической усталости, дисбиоза кишечника и иммунодефицитных состояний. Их уникальные биоактивные компоненты, такие как особо чистый инулин и пектины, демонстрируют высокую эффективность в нормализации метаболических процессов, укреплении иммунной системы и снижении воспалительных реакций, что делает их перспективными объектами для дальнейших исследований и внедрения в клиническую практику [5, 6, 7, 8].

Хронические заболевания, такие как болезни сердца, диабет, рак и ожирение, являются глобальной проблемой, на долю которой приходится 2/3 смертности.

Пути решения продекларировал еще Гиппократ (460-370 гг. до н.э.) своим изречением: «Пусть пища будет твоим лекарством, а лекарство – твоей пищей».

Согласно одной из современных научных концепций, существует 5 моделей питания человечества. Наиболее важным выводом в работе международной комиссии по питанию (EAT-Lancet Comission) является необходимость трансформации глобальной системы питания: значительное снижение потребления мяса, хлеба, картофеля (крахмалсодержащих продуктов), сахара и увеличение потребления продуктов растительного происхождения, а также рыбы. Топинамбур в разных ипостасях может выступать в качестве пребиотиков [16,

17, 18, 19], замены сахара в питании на фруктозу, инулин. Из зеленой массы производятся экологически чистые корма, целлюлоза, из клубней – инулин, биоэтанол и др.

Цель работы – определить эффективную схему выращивания и переработки топинамбура.

Материалы и методы исследования. Многие предприниматели с интересом рассматривают эту культуру для использования в коммерческих целях.

На основе системного подхода к комплексному управлению процессами переработки топинамбура рассмотрим эти процессы, как многоуровневую переработку на примере агропредприятия по выращиванию топинамбура на 50 га и переработки 1,0 тыс. тонн.

Выращивался гибрид топинамбура Фаворит на дерново-подзолистых, легкосуглинистых почвах в Костромском районе Костромской области.

Необходимо отметить, что глубина переработки может быть разной.

Рассмотрим несколько уровней:

Первый уровень. Этот уровень производства включает возделывание топинамбура, уборку, фасовку, и упаковку натуральных клубней топинамбура для питания 0,5 кг и 1,0 кг и поставку в ритейл, магазины и систему питания – сети здорового питания («ВкусВилл», «Утконос», «Азбука Вкуса»), оптовые базы и овощные рынки.

В исследовании была использована производственная база и опыт работы в ООО «Вива» в Костромской области. Это хозяйство является производителем топинамбура на семена, как продукт питания и для переработки. В середине октября 2024 г. урожайность клубней топинамбура составила 20 т/га. За модуль использована площадь посадок топинамбура 50 га.

При такой схеме работы 15% клубней идут в нестандарт. В расчетах учтены затраты на фасовку, упаковку и реализацию.

Второй уровень. Этот уровень предусматривает выращивание топинамбура на площади 50 га, получение 1 тыс. тонн клубней и производство сиропа.

Третий уровень. Выращивание топинамбура на площади 50 га, получение 1 тыс. тонн клубней, переработка в инулинсодержащий порошок.

Результаты исследования. Схема выращивания и продажи топинамбура на площади 50 га является репрезентативной и воспроизводимой. Она построена на общедоступных агротехнологиях с использованием стандартной сельхозтехники и подробно описана в работах [2, 5, 7]. Имеет детальную технологическую карту с пошаговым описанием всех процессов и норм расхода [5, 7, 8]. Учитывает типичные риски (климатические, рыночные, логистические) и предлагает способы управления ими (страхование, диверсификация каналов сбыта, договоры). Была апробирована на меньшем масштабе (пилотный проект в 1-5 га), что предоставляет реальные, а не теоретические данные для масштабирования [2]. Такой подход доказывает, что проект является не единичной удачей, а тиражируемой бизнес-моделью, пригодной для внедрения в других хозяйствах с схожими условиями. Погодные условия в 2023-2025 гг. были благоприятными, урожайность составила 20 т/га и соответствовала запланированной. Оптовая цена свежего мытого, отборного, упакованного топинамбура составляла: 60 руб./кг. Стоимость элитных семян составила 50 руб/кг.

В таблице 1 представлены затраты на этапах реализации проекта: стоимость семян, выращивания, первичной переработки, фасовки и упаковки.

Таблица 1. Эффективность выращивания на 50 га и реализации клубней топинамбура в торговой сети – затраты и доходы, руб

Table 1. The efficiency of Jerusalem artichoke cultivation on an area of 50 hectares and the sale of tubers in the retail network. Costs and revenues, rubles.

Стоимость семян	Затраты на выращивание и уборку	Первичная переработка	Фасовка, упаковка, транспортировка	Цена упак. 1кг	Выручка, руб	Прибыль, руб
5 000 000	7 5000 000	850 000	13 600 000	60	51 000 000	24 050 000

В подготовке, фасовке и упаковке клубней топинамбура участвует 5 человек. После переборки и калибровки к реализации готовы 850 т отборных клубней. Затраты на выращивание и подготовку составляют 26,95 млн. руб. Прибыль составляет 24,05 млн. руб.

Хранение и торговля натуральным топинамбуром могут осуществляться по схемам, не связанным с дорогостоящим оборудованием. При этом технология продвижения продукции ограничивается двумя периодами: осенней и весенней уборкой. Для расширения технологических возможностей предприятия по увеличению сроков хранения продукции, целесообразно перерабатывать топинамбур, например, на сироп или использовать сушку клубней топинамбура, как методы консервации и продления сроков хранения продукта. Топинамбур, как пребиотик найдет спрос и место [18, 19].

2. Второй уровень – это выращивание и переработки топинамбура на площади 50 га, получение 1 тыс. тонн клубней, переработка топинамбура на сиропы и торговля сиропом.

Таблица 2. Эффективность выращивания на 50 га и реализации сиропа из топинамбура в торговой сети. Затраты и доходы,руб

Table 2. The efficiency of Jerusalem artichoke cultivation on an area of 50 hectares and the sale of Jerusalem artichoke syrup in the retail network. Costs and revenues, rubles.

Стоимость семенных клубней на 50 га	Затраты на возделывание и уборку клубней 2024 г.	Первичная переработка	Затраты на производство сиропа, фасовку, упаковку, транспортировку	Выручка от реализации сиропа	Прибыль
5 000 000	7 500 000	1 000 000	50 000 000	100 000 000	36 500 000

Стоимость сиропа составляет 400 руб/кг. Затраты на выращивание и переработку составили 100,00 млн. руб. Прибыль 36,50 млн. руб.

3. Третий уровень – это производство и реализация особо чистого инулинсодержащего порошка (мука из топинамбура).

Таблица 3. Эффективность выращивания топинамбура площади 50 га, переработки в особо чистый инулинсодержащий порошок и реализация в торговой сети. Затраты и доходы, руб

Table 3. The efficiency of Jerusalem artichoke cultivation on an area of 50 hectares, the processing into a particularly pure inulin-containing powder and the sale in a retail network. Costs and revenues, rubles.

Стоимость семян	Затраты на выращивание и уборку	Первичная переработка	Затраты на производство муки	Выручка от реализации порошка	Прибыль
5 000 000	7 500 0000	850 000	11 250 000	75 000 000	50 400 000

Минимальная цена отечественного порошка из топинамбура 400 руб./кг. Выручка от реализации порошка – 75,00 млн. руб., прибыль – 50,40 млн. руб.

Обсуждение. В работе рассмотрены 3 варианта предприятий по выращиванию и переработке топинамбура и цикория, с разной глубиной переработки. Первый вариант – выращивание, первичная переработка, заключающаяся в очистке от почвы, инородных предметов, мойке и калибровке, фасовке и поставке в торговую сеть. Второй вариант дополнен получением и реализацией сиропа из топинамбура. Третий вариант включает получение порошка из клубней. На примере топинамбура эти технологии реализованы и проведены экономические расчеты по выручке и доходу. Установлено, чем глубже переработка, тем большую можно получить прибыль – 24,05; 36,50 и 50,4 млн. рублей соответственно.

Анализ работы предприятия показывает, что выращивание и переработка топинамбура – это высокорентабельное производство, чем глубже переработка, то есть более чистый продукт, тем выше доход. Чем большая часть выращиваемого сырья перерабатывается, тем выше прибыль. Стебли топинамбура содержат значительное количество клетчатки для промышленного производства. Это еще одно направление комплексного использования топинамбура.

ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А.Г. Лорха» инициирует разработку и организацию предприятий полного цикла по производству продуктов здорового питания на основе картофеля, топинамбура и цикория. Этот проект, несомненно, имеет значительный экологический потенциал [9, 10, 11] для улучшения качества жизни населения и укрепления здоровья за счет уникальных питательных и биологически активных свойств картофеля, топинамбура и цикория. Опыт создания Липецкого комплекса по выращиванию и переработке топинамбура (до 10 тыс. га) и Чаганского предприятия (100 га) показывает, что проект легко тиражируется.

Топинамбур вызывает большой интерес у исследователей различных стран (Японии, Китая, Италии, Тайланда др.) для использования в питании и профилактике заболеваний населения. Инулин из топинамбура широко используется в детском и спортивном питании. Наибольшие площади под посадками топинамбура находятся в России и Канаде. Основные исследования идут под лозунгом «Еда – это лекарство» и направлены на изучение влияния

топинамбура на наиболее распространённые болезни: атеросклероз, сахарный диабет, болезни Альцгеймера [12, 13, 14, 15].

Россия располагает значительными площадями пахотных земель, которые не используются и зарастают. Они могут быть использованы для массового выращивания топинамбура. Анализ, проведенный в статье, показывает, что мы можем не только развивать новую экспортно-ориентированную отрасль, но и сохранить пахотные земли. Но при этом законы торговли имеют свои особенности. Это в первую очередь касается новых продуктов и материалов. Создать новую нишу потребления – крайне сложное дело, которое требует времени несмотря на наличие торговых сетей. Необходимо вписаться, войти в рынок. Топинамбур, как пребиотик и постбиотик, является весьма востребованным товаром [18,19]. Особый интерес проявил Китай к закупкам в России продуктов из топинамбура. Первая партия уже отправлена за рубеж. В настоящее время это новый рубеж в исследованиях продуктов питания и фармацевтики для экспортных поставок. Для этого, в частности, нужна государственная поддержка, грамотная реклама, направленная на «своего» потребителя.

Выводы

1. Проведенные исследования показали, что топинамбур (*Helianthus tuberosus*) – отличный многоцелевой продукт, имеющий большое значение в реализации концепции здорового и функционального питания.

2. Расчеты выручки и доходов модельных предприятий с разной глубиной переработки топинамбура показали, что чем глубже переработка выращиваемых растений, тем выше доход. Установлено, что предприятие по выращиванию, мойке, калибровке, фасовке и поставке в торговую сеть позволяет получить прибыль 24,05 млн. руб/год. Производство сиропа дает прибыль 36,50 млн. руб/год. Более глубокая переработка на особо чистый инулинсодержащий порошок позволяет получить прибыль 50,4 млн. рублей, что подтверждает повышение прибыли с углублением переработки.

3. Для успешной реализации новых предприятий необходимо при разработке бизнес-плана учитывать динамику роста выручки, прибыли, их соотношение и существующую на данный момент процентную ставку по кредитам.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Zhou B. et al. Worldwide trends in diabetes prevalence and treatment from 1990 to 2022: a pooled analysis of 1108 population-representative studies with 141 million participants // The Lancet. 2024. Vol. 404 (10467). P. 2077-2093 [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(24\)02317-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(24)02317-1)
2. Старовойтов В.И., Жевора С.В., Бызов В.А., Старовойтова О.А., Манохина А.А., Майоров И.И., Гайдар С.М., Гайдар И.А., Барчукова А.С., Воронов Н.В. Индустрия производства топинамбура в Российской Федерации: монография. М.: ООО «КнигИздат». 2025. 288 с. EDN: MEHEDF
3. Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Манохина А.А. Топинамбур как кормовой ресурс // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2014. № 3 (63). С. 24-26. EDN: TEFYOX
4. Милюткин В.А., Шахов В.А., Асманкин Е.М., Ушаков Ю.А., Комарова Н.К., Смелик В.А. Исследования инновационных технологий, техники и жидких минеральных удобрений на основе карбамидно-аммиачной смеси при возделывании сельхозкультур // Известия ОГАУ. 2022. № 4(96). С. 104-111. EDN: NNEHNM

5. Старовойтова О.А., Манохина А.А., Старовойтов В.И., Зуев В.В., Воронов Н.В. Механизация уборки и хранения клубнеплодов. М.: ФГБНУ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова 2018. 102 с. EDN: XVZPDV
6. Li K., Zhang L., Xue J., Yang X., Dong X., Sha L., Lei H., Zhang X., Zhu L., Wang Z., Li X., Wang H., Liu P., Dong Y., He L. Dietary inulin alleviates diverse stages of type 2 diabetes mellitus via anti-inflammation and modulating gut microbiota in db/db mice // *Food&Function*. 2019. Vol. 10(4). P. 1915-1927. <https://doi.org/10.1039/c8fo02265h>
7. Manokhina A.A., Dorokhov A.S., Kobozeva T.P., Fomina T.N., Starovoitov V.I. Jerusalem artichoke as a strategic crop for solving food problems // *Agronomy*. 2022. Vol. 12 (2), 465. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020465>
8. Усанова З.И., Байбакова Ю.В. Формирование высокопродуктивных агроценозов топинамбура: особенности минерального питания, удобрение: монография. Тверь: Изд-во Тверской ГСХА. 2009. 154 с. EDN: QLAUZR
9. Antonkiewicz J., Jasiewicz Cz., Ryant P., The use of heavy metal accumulating plants for detoxication of chemically polluted soils // *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2004. Vol. 52. P. 113-120. URL: <https://acta.mendelu.cz/pdfs/acu/2004/01/11.pdf>
10. Shao T., Long X., Liu Y., Gao X., Liu M., Rengel Z. Effect of industrial crop Jerusalem artichoke on the micro-ecological rhizosphere environment in saline soil // *Applied Soil Ecology*. 2021. Vol. 166, 104080. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104080>
11. Nenciu F., Nae G., Milian G., Dumitru I., Mate, G., Isticioaia S. Identifying new criteria for assessing the impact on the ecosystem generated by the establishment of Jerusalem artichoke crops on difficult and floodable soils // *E3S Web of Conferences*. 2021. Vol. 286, 03022. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128603022>
12. Kim S.H., Kim B.K., Park B.Y., Kim J.M., Lee Y.J., Lee M.K., Yee S.-T., Kang M.Y. Effects of Jerusalem artichoke extract and inulin on blood glucose levels and insulin secretion in streptozotocin induced diabetic mice // *The Journal of Korean Diabetes*. 2021. Vol. 22. P. 60-70. <https://doi.org/10.4093/jkd.2021.22.1.60>
13. Ahn H.Y., Kim M., Seo C.R., Yoo H.J., Lee S.-H., Lee J.H. The effects of Jerusalem artichoke and fermented soybean powder mixture supplementation on blood glucose and oxidative stress in subjects with prediabetes or newly diagnosed type 2 diabetes // *Nutrition & Diabetes*. 2018. Vol. 8 (1): 42. <https://doi.org/10.1038/s41387-018-0052-y>
14. Sawicka B., Skiba D., Pszczó Ą P., Aslan I., Sharifi J., Krochmal-Marczak B. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as a medicinal plant and its natural products // *Cellular and Molecular Biology*. 2020. Vol. 66 (4). P.160-177. <https://doi.org/10.14715/cmb/2020.66.4.20>
15. Lu X., Min L., Wei J., Gou H., Bao Z., Wang J., Wang Z., Huang Y., An B. Heliangin inhibited lipopolysaccharide-induced inflammation through signaling NF-κB pathway on LPS-induced RAW 264.7 cells // *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 2017. Vol. 88. P. 102-108. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.01.041>
16. Купцов Н.С., Попов Е.Г., Ярошевич М.И., Титок В.В. Модели интенсивных сортов топинамбура // Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов. Матер. III Межд. науч.-практ. конф. посв. 110-летию со дня рожд. акад. Н. В. Смольского (Минск, 7-9 октября 2015 г.). Мн.: ЗАО «Конфидо». 2015. С. 456-458. EDN: ZEPRLH

17. Jackson P. P. J., Wijeyesekera A., Rastall R. A. Inulin-type fructans and short-chain fructooligosaccharides – their role within the food industry as fat and sugar replacers and texture modifiers – what needs to be considered! // *Food Science & Nutrition*. 2023. Vol. 11(1). P. 17-38. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3040>
18. Szydłowska A., Sionek B. Probiotics and postbiotics as the functional food components affecting the immune response // *Microorganisms*. 2022. Vol. 11(1), 104. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11010104>
19. Sabahi S., Homayouni Rad A, Aghebati-Maleki L., Sangtarash N., Ozma M.A., Karimi A., Hosseini H., Abbasi A. Postbiotics as the new frontier in food and pharmaceutical research // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022. Vol. 63(26). P. 8375-8402. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2056727>

REFERENCES

1. Zhou B. et al. Worldwide trends in diabetes prevalence and treatment from 1990 to 2022: a pooled analysis of 1108 population-representative studies with 141 million participants // *The Lancet*. 2024. Vol. 404 (10467). P. 2077-2093 (In Eng.) [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(24\)02317-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(24)02317-1)
2. Starovoitov V.I., Zhevora S.V., Byzov V.A., Starovoitova O.A., Manokhina A.A., Mayorov I.I., Gaidar S.M., Gaidar I.A., Barchukova A.S., Voronov N.V. Jerusalem artichoke industry in the Russian Federation. Monograph. Moscow: KnigIzdat Publ. 2025. 288 p. (In Russ.) EDN: MEHEDF
3. Starovoytov V.I., Starovoytova O.A., Manokhina A.A. Jerusalem artichoke - as a feed resource. *Vestnik FGOU VPO «MGAU imeni V.P. Goryachkina» = Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2014;3 (63): 24-26 (In Russ.) EDN: TEFYOX
4. Milyutkin V.A., Shakhov V.A., Asmankin E.M., Ushakov Yu.A., Komarova N.K., Smelik V.A. Research of innovative technologies, engineering and liquid mineral fertilizers based on carbamide-ammonia mixture for crop cultivation. *Izvestiya OGAU = Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2022;4(96):104-111. (In Russ.) EDN: NNEHNM
5. Starovoitova O.A., Manokhina A.A., Starovoitov V.I., Zuev V.V., Voronov N.V. Mechanization of harvesting and storage of tubers. Moscow: All-Russian Research Institute for Hydraulic Engineering and Land Reclamation. 2018. 102 p. (In Russ.) EDN: XVZPDV
6. Li K., Zhang L., Xue J., Yang X., Dong X., Sha L., Lei H., Zhang X., Zhu L., Wang Z., Li X., Wang H., Liu P., Dong Y., He L. Dietary inulin alleviates diverse stages of type 2 diabetes mellitus via anti-inflammation and modulating gut microbiota in db/db mice. *Food&Function*. 2019; 10(4):1915-1927. (In Eng.) <https://doi.org/10.1039/c8fo02265h>
7. Manokhina A.A., Dorokhov A.S., Kobozeva T.P., Fomina T.N., Starovoitov V.I. Jerusalem artichoke as a strategic crop for solving food problems. *Agronomy*. 2022;12 (2), 465. (In Eng.) <https://doi.org/10.3390/agronomy12020465>
8. Usanova Z.I., Baibakova Yu.V. Formation of highly productive Jerusalem artichoke agrocenoses: features of mineral nutrition, fertilizer: monograph. Tver: Tver State Agricultural Academy Publishers. 2009. 154 p. (In Russ.) EDN: QLAUZR
9. Antonkiewicz J., Jasiewicz Cz., Ryant P., The use of heavy metal accumulating plants for detoxication of chemically polluted soils. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2004; 52: 113-120. (In Eng.) URL: <https://acta.mendelu.cz/pdfs/acu/2004/01/11.pdf>

10. Shao T., Long X., Liu Y., Gao X., Liu M., Rengel Z. Effect of industrial crop Jerusalem artichoke on the micro-ecological rhizosphere environment in saline soil. *Applied Soil Ecology*. 2021;166, 104080. (In Eng.) <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104080>
11. Nenciu F., Nae G., Milian G., Dumitru I., Mate, G., Isticioaia S. Identifying new criteria for assessing the impact on the ecosystem generated by the establishment of Jerusalem artichoke crops on difficult and floodable soils. *E3S Web of Conferences*. 2021; 286, 03022. (In Eng.) <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128603022>
12. Kim S.H., Kim B.K., Park B.Y., Kim J.M., Lee Y.J., Lee M.K., Yee S.-T., Kang M.Y. Effects of Jerusalem artichoke extract and inulin on blood glucose levels and insulin secretion in streptozotocin induced diabetic mice. *The Journal of Korean Diabetes*. 2021;22:60-70. (In Eng.) <https://doi.org/10.4093/jkd.2021.22.1.60>
13. Ahn H.Y., Kim M., Seo C.R., Yoo H.J., Lee S.-H., Lee J.H. The effects of Jerusalem artichoke and fermented soybean powder mixture supplementation on blood glucose and oxidative stress in subjects with prediabetes or newly diagnosed type 2 diabetes. *Nutrition & Diabetes*. 2018;8 (1): 42. (In Eng.) <https://doi.org/10.1038/s41387-018-0052-y>
14. Sawicka B., Skiba D., Pszczó Å P., Aslan I., Sharifi J., Krochmal-Marczak B. Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) as a medicinal plant and its natural products. *Cellular and Molecular Biology*. 2020; 66 (4):160-177. (In Eng.) <https://doi.org/10.14715/cmb/2020.66.4.20>
15. Lu X., Min L., Wei J., Gou H., Bao Z., Wang J., Wang Z., Huang Y., An B. Heliangin inhibited lipopolysaccharide-induced inflammation through signaling NF-κB pathway on LPS-induced RAW 264.7 cells. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 2017;88:102-108. (In Eng.) <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2017.01.041>
16. Kuptsov N.S., Popoff E.G., Jaroshevich M.I., Titok V.V. Models of intensive topinambour varieties. In: Problems of conservation of biological diversity and use of biological resources. Proc. III Int. Sci. Prac. Conf. dedicated to the 110th anniversary of the birth of Academician N. V. Smolsky (Minsk, October 7-9, 2015). Minsk: Confido Publ. 2015.: 456-458. (In Russ.) EDN: ZEPRLH
17. Jackson, P. P. J., Wijeyesekera, A., Rastall, R. A.). Inulin-type fructans and short-chain fructooligosaccharides – their role within the food industry as fat and sugar replacers and texture modifiers – what needs to be considered! *Food Science & Nutrition*. 2023;11(1):17-38. (In Eng.) <https://doi.org/10.1002/fsn3.3040>
18. Szydłowska A., Sionek B. Probiotics and postbiotics as the functional food components affecting the immune response. *Microorganisms*. 2022;11(1):104. (In Eng.) <https://doi.org/10.3390/microorganisms11010104>
19. Sabahi S., Homayouni Rad A, Aghebati-Maleki L., Sangtarash N., Ozma M.A., Karimi A., Hosseini H., Abbasi A. Postbiotics as the new frontier in food and pharmaceutical research. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2022;63(26):8375-8402. (In Eng.) <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2056727>

Об авторах:	About the authors:
Виктор Иванович Старовойтов д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник, отдел агротехнологий ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха»,	Viktor I. Starovoitov Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Scientific Officer, Department of Agricultural Technologies Lorkh Russian Potato Research Centre (RCPR)

140051, Российская Федерация, Московская область, Люберецкий район, п. Красково, ул. Лорха, д. 23, литер В agronir1@mail.ru https://orcid.org/0000-0001-9365-7631	Lorkh Str., 23, Building V, Kraskovo, Lyubertsy District, Moscow Region, 140051, Russian Federation agronir1@mail.ru https://orcid.org/0000-0001-9365-7631
Александра Анатольевна Манохина д-р с.-х. наук, доцент, профессор кафедры механизации сельского хозяйства ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева» 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49 alexman80@list.ru https://orcid.org/0000-0002-9785-1164	Aleksandra A. Manokhina Doctor of Agricultural Sciences, Docent, Professor of the Department of Agricultural Mechanization, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, 127434, Russian Federation alexman80@list.ru https://orcid.org/0000-0002-9785-1164
Оксана Анатольевна Старовойтова д-р с.-х. наук, главный научный сотрудник, отдел агротехнологий ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха», 140051, Российская Федерация, Московская область, Люберецкий район, п. Красково, ул. Лорха, д. 23, литер В agronir2@mail.ru https://orcid.org/0000-0002-8293-6579	Oksana A. Starovoitova Doctor of Agricultural Sciences, Chief Scientific Officer Department of Agricultural Technologies Lorkh Russian Potato Research Centre (RCPR) Lorkh Str., 23, Building V, Kraskovo, Lyubertsy District, Moscow Region, 140051, Russian Federation agronir2@mail.ru https://orcid.org/0000-0002-8293-6579
Василий Аркадьевич Бызов кандидат сельскохозяйственных наук Врио директора ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха», 140051, Российская Федерация, Московская область, Люберецкий район, п. Красково, ул. Лорха, д. 23, литер В byzov1966@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-9365-7631	Vasily A. Buzov Cand. Sc., Acting Director Lorkh Russian Potato Research Centre (RCPR) Lorkh Str., 23, Building V, Kraskovo, Lyubertsy District, Moscow Region, 140051, Russian Federation byzov1966@yandex.ru, https://orcid.org/0000-0001-9365-7631 ;
Николай Вячеславович Воронов канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры экологии, Российский государственный гидрометеорологический университет, 192007, Санкт-Петербург, ул. Воронежская, д. 79, Россия 7777777@mail.ru	Nikolaj V. Voronov Cand. Sc. (Engineering), Assistant Professor, assistant professor, Ecology Department, Russian State Hydrometeorological University, Voronezhskaya Str. 79, Saint Petersburg, 192007, Russia 7777777@mail.ru
Заявленный вклад авторов О.А. Старовойтова – методология проекта,	Authors' contribution O.A. Starovoitova – project methodology,

проведение исследований, формальный анализ, формулирование общих выводов, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование В.И. Старовойтов – научное руководство исследованием, формулирование основных направлений исследования, цели и задач, формулирование общих выводов А.А. Манохина – анализ литературных источников для постановки цели, создание черновика рукописи, формулирование общих выводов, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование В.А. Бызов – проведение исследований, формальный анализ, создание черновика рукописи, формулирование общих выводов Н.В. Воронов – формальный анализ	research, formal analysis, formulation of general conclusions, creation of the final version (revision) of the manuscript and its editing V.I. Starovoitov – scientific management of research, formulation of the main directions of research, goals and objectives, formulation of general conclusions A.A. Manokhina – analysis of literary sources for setting goals, creation of a draft manuscript, formulation of general conclusions, creation of the final version (revision) of the manuscript and its editing V.A. Buzov – conducting research, formal analysis, creating a draft of the manuscript, formulating general conclusions N.V. Voronov – formal analysis
Конфликт интересов Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов	Conflict of interest The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи к публикации.	All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.
Статья поступила в редакцию: 21.08.2025	Received: 21.08.2025
Одобрена после рецензирования: 29.09.2025	Approved after reviewing: 29.09.2025
Принята к публикации: 11.11.2025	Accepted for publication: 11.11.2025

Научная статья
УДК 634.72

DOI 10.24412/2713-2641-2025-4125-34-51

АРХИТЕКТОНИКА И СТРУКТУРА КУСТА СМОРОДИНЫ ЧЁРНОЙ И ВОЗМОЖНОЕ ПРИКЛАДНОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Всеволод Васильевич Нефёдов¹

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург,
Россия

vsevnef@mail.ru

Аннотация. Технологическая карта выращивания смородины чёрной не предусматривает различий между сортами, однако наблюдения за длительный период показали, что биологический возраст растений и оптимальный продуктивный период плодоношения плантации не совпадают. Гарантеей высоких урожаев служит полноценно сформированное растение, но таковым оно не может оставаться длительный срок, неизбежно его старение. Цель исследования – на примерах максимально возможного количества сортов наблюдать динамику ростовых процессов, регенерацию стареющих ветвей, динамику зоны плодоношения и особенности восстановления, а также выявить отличия по этим показателям у разных сортов и выделить типовые группы со сходными процессами. Новизна исследования в том, что ранее почти не обращалось внимание на эти особенности и в описании сортов иногда указан только габитус кроны. В исследовании принята методика оценки сорта по двум показателям – структура взрослого растения и архитектура плодоношения. Выделено 5 групп сортов. Первая группа отличается лёгким восстановлением ветвей и быстрым старением, и лёгкостью искусственного омолаживания; вторая группа – обильным и многоярусным ветвлением и плодоношением, сдвинутым в первые 3-4 года, и практически невозможностью омолаживания; третья группа – стабильной зоной плодоношения и длительной продуктивностью, но омолаживание неэффективно. Четвёртая и пятая группы сходны стабильной зоной плодоношения и отсутствием загущения, но растения 4-й группы можно омолаживать контурной обрезкой, а для пятой группы – это вероятно невозможно. В отношении особенностей растений пятой группы требуются дополнительные исследования. Сорта первой группы требуют условий, способствующих активным ростовым процессам. Преимущество сортов 2-й и 3-й группы заключается в возможности использования при залужении междурядий, что удешевляет выращивание, и в отдаче урожая в первые годы плодоношения. В основном сорта требуют хорошей подготовки участка и в дальнейшем неприхотливы. Все то же самое можно сказать в отношении сортов четвёртой группы, но у них есть возможность омолаживания плантации. Сорта пятой группы высоко урожайны, но требовательны к агротехнике и затратам на выращивание. Их преимущество – в возможности применения плотных схем посадок, что за счёт количества растений может создать высокорентабельную плантацию. Результаты исследования выявили необходимость закладки опытов по использованию преимуществ каждой группы сортов, для создания типовых технологий выращивания смородины черной.

Ключевые слова: чёрная смородина, структура куста смородины, архитектура плодоношения смородины, классификация сортов смородины.

Для цитирования: Неведов В.В. Архитектура и структура куста смородины чёрной и возможное прикладное значение // АгроЭкоИнженерия. 2025. № 4(125). С. 34-51 <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-4125-34-51>

Research article

Universal Decimal Code 634.72

ARCHITECTONICS AND STRUCTURE OF A BLACK CURRANT BUSH AND THEIR POSSIBLE APPLIED VALUE

Vsevolod V. Nefedov

vsevnef@mail.ru

Abstract. A technological chart for blackcurrant cultivation does not consider the differences between varieties. Nevertheless, extensive studies have revealed that the biological age of plants and the ideal time for fruit development do not always align. While a matured plant is a guarantee of good yields, it cannot remain in that state for a long time as aging is inevitable. The study aimed to track the evolution of growth patterns, the renewal of aged branches, the development of the fruiting zone, and the recovery process on as many varieties as possible. Additional objective was to compare these characteristics across different varieties and identify the distinct groups with similar processes. The novelty of this study was in the fact that until now, very little attention was paid to these features. In some cases, a variety description mentioned only the crown habitus. To evaluate each variety, the study used a methodology based on two indicators: mature plant structure and structural fruiting pattern. The study identified five main types of varieties. The first type was distinguished by quick branch recovery, rapid aging, and easy artificial rejuvenation. The second type had abundant and multi-layered branching and fruit production that started in the first 3 to 4 years. Rejuvenation for this type was almost impossible. The third type had a stable fruit-bearing area and long-term productivity, but rejuvenation did not work well. The fourth and fifth types had similar stable fruit bearing areas, but the fourth type could be rejuvenated through pruning, while the fifth type might not be possible to rejuvenate. More research is needed to better understand the characteristics of the plants in the fifth group. The varieties of the first group needed conditions that promoted the active growth. The benefits of the varieties in groups 2 and 3 were in their ability to grow under the grassing of row spacing that reduced the cost of cultivation and in the yielding in the first few years of fruiting. These varieties need well-prepared soil but they are otherwise quite undemanding. The same can be said about the varieties of the fourth group only that they have the potential to rejuvenate a plantation. The varieties in the fifth group have a high-yielding capacity. Yet they need the advanced agricultural techniques and feature high cultivation costs. Their advantage is the dense planting scheme. This can create a high-return plantation owing to the number of plants. The study results indicate the need for extra experiments to explore the benefits of each group of varieties and develop the standard technologies for black currants growing.

Key words: black currant, currant bush structure, fruiting structural pattern, classification of currant varieties, mechanization of berry harvesting

For citation: Nefedov V. V. Architectonics and structure of a black currant bush and their possible applied value. *AgroEcoEngineering*. 2025; 4(125): 34-51 (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-4125-34-51>

Введение. В России выращивают более 200 сортов чёрной смородины. При описании сортов смородины мало или нет совсем указаний на строение куста, скорость роста и формирование, архитектуру плодоношения и период продуктивного состояния плодоношения. Технологическая карта выращивания смородины чёрной составлена без учёта сортовых различий. Вероятно, принято считать, что они незначительны, и сорта отличаются только сроками плодоношения, от раннеспелых до позднеспелых. Тем не менее различия существуют, даже скорость роста у сортов разная (рис. 1).



Рис. 1. Пример того, что рост на одном агрофоне отличается существенно даже в течение одного сезона

Fig. 1. Example how the growth on the same agricultural background differs significantly even during the same season

С этим нельзя согласиться. Специалисты знают, что растения ряда сортов имеют загущенный куст с обильным ветвлением, у других сортов при том же агрофоне формируются немногочисленные ветви обильно покрытые кольчатками. Кроме того, следует различать понятия долголетие самого растения и срок реализации потенциала продуктивности плантации [1]. Нет смысла содержать плантацию, дающую 2-3 центнера ягод с гектара в течение ряда лет, что и наблюдалось в ряде хозяйств. Причина в том, что существует определённый период плодоношения ветви, после которого ветвь необходимо удалить и создать условия для отрастания новых ветвей. С каждым порядком ветвления приросты сокращаются и уменьшается зона плодоношения. Самостоятельно новые ветви, после формирования скелетной основы куста, или почти не образуются у ряда сортов, или остаются в недоразвитом состоянии (10-30 см), только загущая растение и создавая резерват для фитофагов. Бесконечно загущаться растение не способно. Возникает «конкуренция» между ветвями в том числе и за корневую систему (связь отдельной ветви с частью корней), причём корневая система не может превысить определённый объём грунта даже благоприятного участка (рис.2) [2].

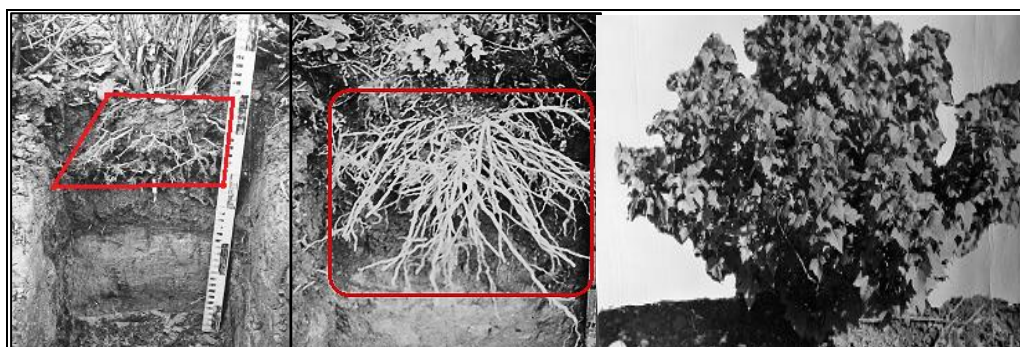


Рис. 2. Даже при наличии мощного пахотного горизонта почвы объём корневой системы куста ограничен генетически. С возрастом растение чрезмерно загущается (фото автора 1979 г.)

Fig. 2. Even with a powerful arable soil horizon, the bush genetics limits the volume of its root system. With age, the plant becomes excessively dense (photo by the author, 1979)

Из-за недостатка рабочих рук детальная обрезка на больших площадях невозможна. Механизированная обрезка возможна только или по типу контурной, или путем полного

скашивания надземной части. Реакция сортов на это мероприятие очень неоднозначна (рис. 3) и зависит от сорта. Так и период восстановления разный [3].



Рис. 3. Контурная обрезка на высоте половины кроны приводит к чрезмерному непродуктивному загущению ряда сортов (наши опыты 80-х годов). Но при полном удалении кроны (фото справа) не получилось полноценного восстановления. Пример сорта из группы обильного ветвления кроны (группа 2)

Fig. 3. Contour pruning at the height of half the crown leads to excessive unproductive thickening of several varieties (our experiments in the 80s). However, the complete removal of the crown (right) did not result in full restoration. An example of a variety from the group with abundant crown branching (Group 2)

При механизированном сборе ягод на разных сортах нами также наблюдались различные эффекты: разный процент потерь урожая, усилие отрыва ягод [4], обдиранье листвы с гибелью ветвей следующего сезона, возникновение периодичности плодоношения, полная потеря плодоношения, иногда напротив – увеличение продуктивности на следующий сезон.

Цель исследований – выделить типовые особенности комплекса: габитус + архитектура плодоношения + характер ветвления, способность к восстановлению; определить, сколько существует таких типовых групп; теоретически обосновать для каждой группы оптимальный период использования плантации и возможность радикального омолаживания.

Материалы и методы исследования. На основе обследования плодоносящих плантаций Северо-Запада России мы составили свою оригинальную методику оценки сортов смородины. Компоненты оценки:

- побеговосстановительная способность – формирование ветвей в основном от основания растения из зоны спящих почек;
- побегообразовательная способность – формирование новых ответвлений от первичных «скелетных» ветвей основы;
- формирование и динамика во времени локальной зоны плодоношения в кроне растения;
- почки смешанного типа (у смородины нет исключительно репродуктивных почек);
- кольчатки нескольких лет плодоношения.

Чёрная смородина является кустарником и для правильного формирования скелетной основы растения ее принято сажать с некоторым заглублением и последующей обрезкой на 2-4 почки от уровня грунта каждой ветви саженца. Основа куста формируется из зоны ростовых и спящих почек основания растения. Через год роста у некоторых сортов часть

почек средней зоны побега закладывает почки смешанного типа, сочетающих как ростовые так и цветковые зачатки (рис. 4). У других сортов такие почки закладываются через два года. В дальнейшем зона плодоношения смещается по длине ветви ближе к концу и резко сокращается, так как вторично эти почки не плодоносят, а рост ветви в длину не бесконечен. Следовательно, для продуктивности важно, будут ли формироваться новые ветви от основания растения или в основном формируются боковые побеги первого порядка, на которых вновь сформируются почки смешанного типа. И тот и другой вариант может быть перспективным в зависимости от особенностей конкретного сорта [5]. Восстановление ветвей от основания растения перспективно как вариант частичного омоложения, но минусом возможно чрезмерное загущение [6].



Рис. 4. Зона плодоношения почек смешанного типа у молодого растения через год после формирования основы куста. Справа вскрытая почка перед началом роста. Видны цветковые зачатки

Fig. 4. Fruiting zone of mixed-type buds in a young plant one year after the formation of the bush base. On the right is an open bud before the growing begins. Plant ovules are visible

У ряда сортов возможен вариант формирования многолетних почек-кольчаток. Зона плодоношения в этом случае стабильна и не смещается по годам. Но при этом ветвление основных скелетных ветвей может или продолжаться, или практически остановиться.

Именно сочетание особенностей ветвления куста и зоны формирования новых почек плодоношения взято нами за основу как характеризующие признаки группы сорта.

Могут наблюдаться различные комбинации этих особенностей, как сочетание в одном сорте наиболее благоприятных особенностей. Самое неблагоприятное сочетание, когда зона плодоношения «уходит» на периферию кроны, при этом ветви стареют, а новые не образуются. Растение может длительно существовать почти без урожая.

Наиболее же благоприятный вариант – при максимальном количестве долговечных ветвей куста и длительном плодоношении зоны кольчаток [7].

Основное направление исследований – предварительное выявление сортов, обладающих благоприятным сочетанием данных особенностей. Каждая группа сортов может быть высококорентабельной в своих условиях. Есть сорта короткого периода использования, без возможности омолаживания, но при этом они рентабельны за короткий период (у каждого сорта свой период, что требует отдельного изучения).

Для правильной классификации сортов необходимо было привлечь максимум материалов наблюдений за многие годы. Классический отбор нескольких случайных сортов для опыта в этом случае ничего не даст.

Результаты. Первая группа сортов характеризуется обильным формированием нулевых побегов, относительно слабым их ветвлением в последующем, и формированием смешанных почек на прошлогоднем приросте по длине каждой из скелетных ветвей, что вызывает смещение репродуктивной зоны каждый сезон от основания ветви к вершине (рис. 5). Поскольку рост ветви в длину ограничен и постепенно сокращается, то и зона репродукции сокращается. Частично это компенсируется появлением новых нулевых побегов и переходом их к плодоношению, но с возрастом это приводит к загущению куста и ослаблению ростовой активности. Поражение фитофагами или болезнями, или повреждение почек механизмами останавливает рост ветви и приводит к периодичности плодоношения за счет формирования новых нулевых побегов. Но следует отметить что эта группа сортов имеет исключительно благоприятную структуру для сбора ягод комбайном – прямостоячий габитус, мало ответвлений и высокая (над уровнем почвы) зона формирования ягод. На эти особенности обращали внимание и раньше. Предполагалось, что наиболее продуктивны сорта, плодоносящие на прошлогоднем приросте. Наши опыты 80-х годов показали, что активный рост сортов первой группы требует особого внимания к рыхлению междурядий, удобрениям и посадке на благоприятном участке [8].

Также наши наблюдения показали, что многие сорта смородины при **первом** плодоношении сначала имеют архитектуру такого типа, которая в дальнейшем меняется на другую, и можно предполагать использование этой особенности для создания технологии коротких циклов плодоношения, что одновременно сняло бы ряд других проблем. Пока всё же неизвестно, какие сорта могли бы выдержать многократную срезку после каждого плодоношения.



Рис. 5. Архитектоника плодоношения сортов смородины первой группы

Fig. 5. The fruiting structural pattern of currant varieties in Group 1

В отношении первой группы сортов наиболее неблагоприятно поражение верхушек растущих побегов фитофагами или возбудителями заболеваний. Это останавливает рост в длину, вызывает непродуктивное ветвление и ограничивает зону плодоношения. Плюсом для данной группы является возможность полного скашивания плантации для омолаживания и для оздоровления с удалением поражённых ветвей.

Вторая группа сортов отличается обильным первичным ветвлением прикорневых ветвей. Нулевых побегов почти нет, и в дальнейшем если они и образуются, то не обеспечивают полноценного развития. За счет обильного ветвления образуется репродуктивная зона прошлогодних приростов, которая смещается каждый сезон ближе – на

периферию кроны куста. Это способствует обильным урожаям в первые 3 сезона за счет увеличения объёма кроны (рис. 6), но резким затуханием при естественном старении ветвей и локализацией слабого плодоношения на концах ветвей. Обильное ветвление более высоких порядков подавляет в дальнейшем образование новых побегов *первого порядка* и *прикорневых* ответвлений. Это сорта, как представляется, определенного (стандартного) периода использования. Они обладают полураскидистой формой кроны, что облегчает уборку урожая комбайном. Нет потерь ягод из нижней (непродуктивной) зоны кроны. Частичное поражение ветвей фитофагами или заболеваниями малозначимо для потери продуктивности, компенсируется избыточным ветвлением в первые сезоны. В настоящее время такие сорта почти исчезли из сортимента, предположительно, по причинам загущенности кроны и раскидистой формы, а также из-за короткого периода плодоношения. В данном случае преимущества одновременно являются недостатками в другом отношении. Всё же желательно исследовать экономическую рентабельность их выращивания. Короткий период при высоких урожаях может быть выгодным.

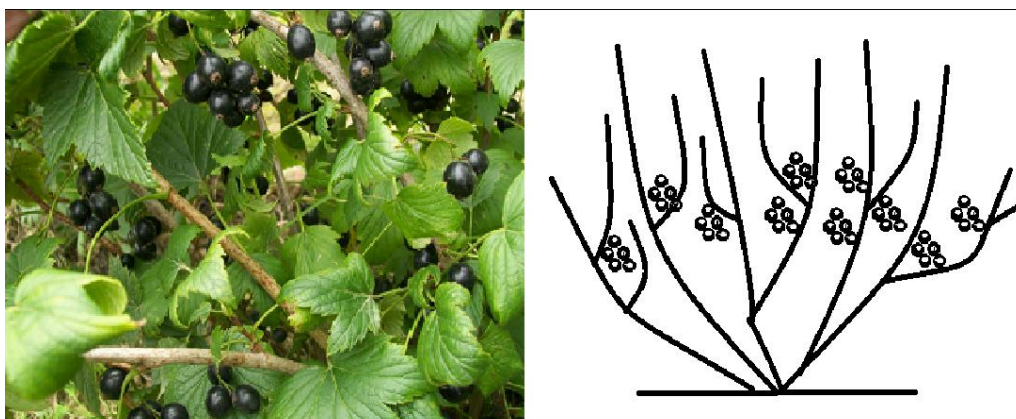


Рис.6. Архитектоника плодоношения сортов смородины второй группы

Fig. 6. The fruiting structural pattern of currant varieties in Group 2

Были проведены рекогносцировочные опыты по контурной обрезке сортов второй группы. Как результат – слабые ветви при этом отмирали, а сильные образовали побеги первого порядка из верхней части куста. Зона плодоношения переходила на этот прирост. При этом увеличивалось ветвление и загущение кроны куста. Для омолаживания таким способом следует провести опыты по поиску оптимальной высоты снижения кроны и влиянию загущения на полноту сбора ягод комбайном. Вероятно, эти сорта не подлежат омолаживанию полным скашиванием надземной части.

Третья группа сортов по многим особенностям похожа на вторую группу и первоначально нами не выделялась. Но дальнейшие наблюдения показали важное отличие – репродуктивная зона формируется из кольчаток центра куста (рис. 7) – локализация зоны плодоношения почти *не смещается* по сезонам, даже несколько *увеличивается*. Это способствует *длительной продуктивности* растения за счёт долговечных кольчаток центра куста (см. рис. 4). При этом нет чрезмерного загущения кроны и нет прикорневых слабых ответвлений. Ответвления высоких порядков формируются скелетными ветвями в верхней части куста и при незначительном поражении их фитофагами и заболеваниями это практически не влияет на урожай, так как поражается непродуктивная зона растения (рис. 8). Поражение почковым клещом верхушечных почек приростов первого порядка ветвления при обильном ветвлении малозначимо для продуктивности (в отсутствие реверсии).



Рис. 7. Архитектоника плодоношения сортов смородины третьей группы. Группы кольчаток в центре куста

Fig. 7. The fruiting structural pattern of currant varieties in Group 3. Groups of artificial spurs in the bush center



Рис. 8. Возможное поражение верхушек побегов кроны в период полного формирования куста мучнистой росой или почковым клещом не приносит существенного вреда в плане урожая сортов 3-й группы, которые имеют избыток боковых ответвлений, не имеющих репродуктивных почек. Зона плодоношения в центре

Fig. 8. Possible damage to the tops of the crown shoots during the complete bush formation period by powdery mildew or bud mites does not cause significant harm to the yield of Group 3 varieties, which have an excess of lateral branches without reproductive buds. The fruiting area is shown in the center

Данная группа сортов обладает жёсткими ветвями. Отмечена повышенная выносливость сортов к качеству грунта, его плотности. Жёсткие ветви являются плюсом в отношении сбора ягод [9]. Полное скашивание для омолаживания не рекомендуется. Не перспективна и контурная обрезка. За счёт избытка побегов высших уровней сорта имеют выносливость к поражению вредными объектами.

В настоящее время к четвёртой группе можно отнести многие урожайные сорта, они преобладают в сортименте. Скелетная основа куста в основном формируется из ростовых почек основания саженца (рис. 9). Нулевых побегов почти нет. Четвёртая группа сортов формирует устойчивую структуру скелетных ветвей, плодоносящих ответвлений первого порядка. Более высоких порядков ветвления почти нет. Структура стабильна во времени, растение не загущается и длительно плодоносит на ответвлениях первого порядка. Ценное свойство этих сортов – умеренная ростовая активность после формирования основы куста. Это позволяет использовать для посадки ограниченно пригодные участки грунта и

применять залужение междурядий. Элементы питания идут более на плодоношение и менее – на рост [10].



Рис. 9. Формирование скелетной основы куста начинается из ростовых почек основания растения, в дальнейшем формируются плодоносящие ответвления первого порядка. Более высоких порядков ветвления нет. На фото представлено высокое и низкое формирование ответвлений у разных сортов

Fig. 9. Formation of the scaffold base of the bush begins from the growth buds in the plant base. Then only first order fruit-bearing branches and no higher order branches form. The photos show high and low formation of branches in different varieties

Возможны два варианта формирования (рис. 9) скелетной основы у разных сортов этой группы. Для механизированного сбора урожая следует выбирать сорта с высоким расположением ветвления. При использовании механизированного сбора ягод данная структура выдерживает механические воздействия, но требуется период восстановления до двух сезонов (рис. 10). Сорта восстанавливаются при полном скашивании на омолаживание [11].

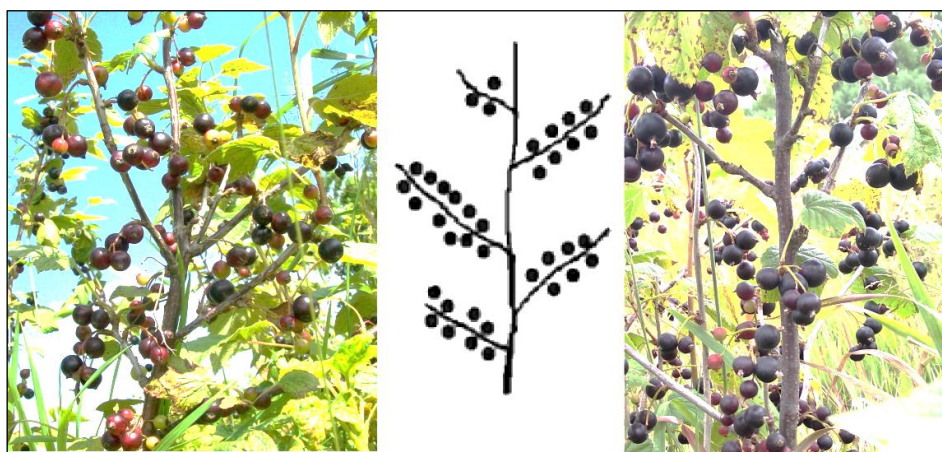


Рис. 10. Архитектоника плодоношения и структура куста 4-й группы может восстанавливаться после частичного повреждения от применения комбайна

Fig. 10. The fruiting structural pattern and the bush structure in Group 4 varieties can be restored after partial damage caused by a combine harvester

Эта группа наиболее устойчива к почковому клещу, так как почки быстро проходят наиболее уязвимые первые три стадии формирования. Могут иногда поражаться концы

боковых побегов, но незначительно. Возможно, как и первая группа, четвёртая группа может быть пригодной для полной механизации, но следует провести испытания на хрупкость ветвей и устойчивость кольчаток к повреждениям.

Пятая группа сортов формирует кольчатки непосредственно на скелетных ветвях мало ветвящихся (рис. 11).

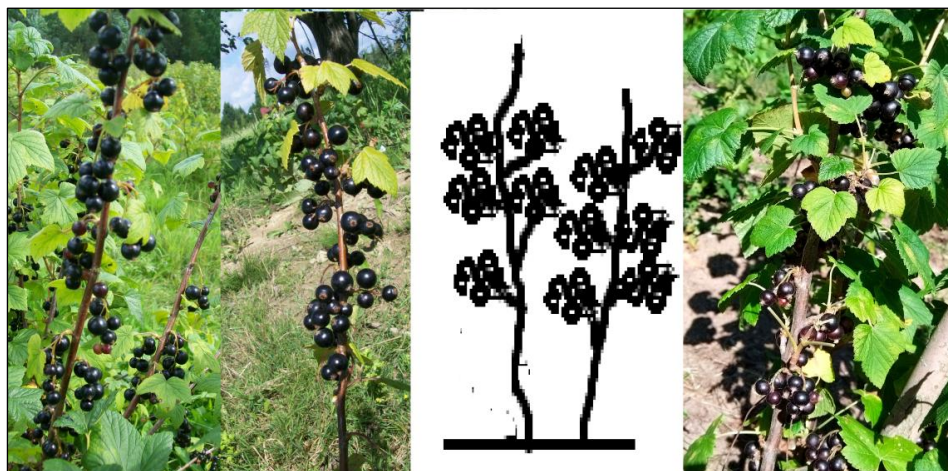


Рис. 11. Архитектоника плодоношения и структура куста пятой группы
Fig. 11. Fruiting structural pattern and the bush structure in Group 5 varieties

Это сорта с жёсткими ветвями, прямостоячего габитуса [12]. Они высоко требовательны к уходу, удобрениям, отсутствию сорняков. Ценные их качества – высокая продуктивность при благоприятных условиях (4-5 кг ягод с куста при первом плодоношении или 0,5-0,8 кг с ветви). Почки смешанного типа закладываются даже почти на уровне грунта. Значительная часть урожая при этом теряется при сборе комбайном. Также ягоды неравномерно созревают при затенении кроной. В засухе могут терять листву уже к сбору урожая. Но они не израстаются, длительно продуктивны, так как ягоды формируются на кольчатках многолетних ветвей. В отсутствии поломок скелетных ветвей, нулевых побегов практически нет. Однако если таковые появляются, то их рост замедлен и никогда не достигает полноценной длины. Замедление роста нулевых побегов приводит к массовому поражению их почек клещом. Появляется резерват этого вредителя. Но сорта представляют интерес как объект селекции. Высокая степень апикального доминирования скелетных осей сдерживает их ветвление, что и приводит к закладке большого количества репродуктивных почек – а это ценное качество. Отметим также благоприятное соотношение между ростовой активностью и плодоношением в пользу плодоношения. К сожалению недостатки (требовательность сортов, слабый рост на ограниченно пригодных местоположениях) привели к почти полному исчезновению этих сортов из промышленного сельского хозяйства.

Опыты показали возможность омолаживания этих сортов срезкой на половину кроны куста. Но продуктивная зона переходит на новый прирост выше уровня среза.

Если путём селекции придать сортам 5-й группы устойчивость почек кольчаток к повреждению механизмами и неприхотливость к плотным грунтам – они бы, предполагаем, превзошли по технологичности сорта 1-й группы.

Особенности продуктивности групп сортов.

Рассмотрим динамику плодоношения групп сортов на примере выборки отдельных сортов плантации десятилетнего возраста, заложенной на благоприятном участке (таблица) и при интенсивной технологии при схеме посадки 3х0,6м (опыт автора 70-х годов).

Таблица. Примеры продуктивности сортов смородины разных групп архитектуры плодоношения при высокоинтенсивной агротехнике*

Table. Examples of productivity of currant varieties of different groups of fruiting structural pattern under high-intensity agricultural technology*

Группа	Сорт	Годы плодоношения и урожай ц/га (80-х годов)								Сумма урожая, центнер за основной период
		1	2	3	4	5	6	7	8	
1	Лунная	26	76	76	86	109	4	29	10	373
2	Гибрид «63-118»	13	54	144	78	49	1	0	0	338
5	Стахановка Алтая	55	10 0	94	84	13	1	6	13	333
4	Фёдоровская	28	71	107	55	8	19	5	61	261
Единственный удачный вариант на ограниченно пригодном участке 10-летней плантации от 2014 года посадки показан ниже										
3	Гибрид «8-20-9»	30	73	100	19	14	0			236

*Примеры без математической обработки, только в качестве иллюстрации – выборка наиболее показательных вариантов, с выделением оптимального периода плодоношения, сортов было использовано намного больше. Цветом выделены периоды оптимального плодоношения.

*Examples without mathematical analysis, just as an illustration – a selection of the most illustrative options, with the allocation of the optimal fruiting period, much more varieties were used. The periods of optimal fruiting are highlighted in color.

В то время преобладали сорта 1-й и 2-й групп, как более выносливые к условиям и активно растущие. Следует отметить, что сорта короткого периода плодоношения могут оказаться экономически более рентабельными при условии быстрой реализации продуктивного периода и высоких урожаях. Так, в наших опытах сорт Фёдоровская был наиболее рентабельным за период 4-летнего плодоношения [8].

Что касается сортов иных групп, то для сорта Лунная наблюдались колебания урожаев соответственно волнам роста нулевых побегов, переходящих к плодоношению [8]. Некоторые поломки ветвей при прохождении комбайна стимулировали новый рост. Гибрид 63-118, как обладающий гибкими ветвями, активно наращивал крону, что компенсировало частичные повреждения, но до момента старения ветвей. Нулевых и прикорневых побегов в этот период не образуется, что и привело к потере продуктивности. Сорта Стахановка Алтая и Фёдоровская частично могут восстановить продуктивность за счёт ветвления [8].

На ограниченно пригодном участке грунта преимущество получают сорта, способные заложить основу куста еще в первые два сезона и в дальнейшем слабо растущие. Ростковая активность у них имеет меньшее значение в этот период.

Обсуждение. Основной итог заключается в том, что «стандартный» подход к технологии выращивания смородины чёрной нерационален в плане обязательного десяти-двенадцатилетнего периода использования плантации. Даже на оптимальном местоположении плантации следует ориентироваться на длительность *оптимального продуктивного периода* растений группы. И необходимы исследования – способна ли группа сортов к омолаживанию, и если да, то в какой форме. Возможно более рациональным будет разработка технологии плантации трех-четырёхлетнего высокого плодоношения при интенсивном использовании участка и без применения средств защиты растений. Одним из элементов является плотная посадка растений для создания искусственного фитоценоза. Нужны исследования по способам ускоренного выращивания *дешёвого* посадочного материала. [13].

Это не исключает изучение возможности продления продуктивного периода растений и возможности полного омолаживания на второй цикл, соответственно с подбором сортов и выведением новых [14].

На рисунке 12 представлена шкала всех 5 групп сортов по структуре и архитектонике. Следует уточнить, что определение группы сорта возможно только в период полного плодоношения, так как молодые растения все проходят через аналог 1-й группы, формируя первые ягоды иногда и на второй сезон роста от посадки. В отношении шкалы – все различия между группами касаются ростовых процессов и степени апикального доминирования точек роста побегов. Сорта первой группы обладают повышенной побеговосстановительной способностью и одновременно умеренным доминированием точек роста апекса. Это не ограничивает умеренное образование боковых ответвлений, но почки в основном остаются ростовыми. Сорта второй и третьей группы обладают слабым доминированием точек роста, что способствует обильному ветвлению скелетных ветвей и при этом задерживает образование нулевых побегов («конкуренция» за общую корневую систему). Энергичное ветвление и рост ответвлений задерживает закладку репродуктивных почек, которые в основном формируются на границах приростов двух сезонов (рис. 13) но с ослаблением поступательного роста ветви.

Это же приводит к остановке плодоношения сортов 2-й группы. Сорта третьей группы с похожей структурой куста, в связи с более существенным влиянием апексов побегов продолжения закладывают в центре куста почки (даже группами кольчаток), способные плодоносить несколько лет, а ответвления более высоких порядков обеспечивают дополнительный фотосинтез, а также при поражении концов побегов служат некоторым барьером на пути вредных видов. У сортов 4-й и 5-й группы ещё более высокая степень доминирования побега-лидера и боковых ответвлений в сочетании с ослабленной побеговосстановительной способностью. Иногда в отношении некоторых образцов трудно провести грань – к какой группе их относить, к 4-й или 5-й.

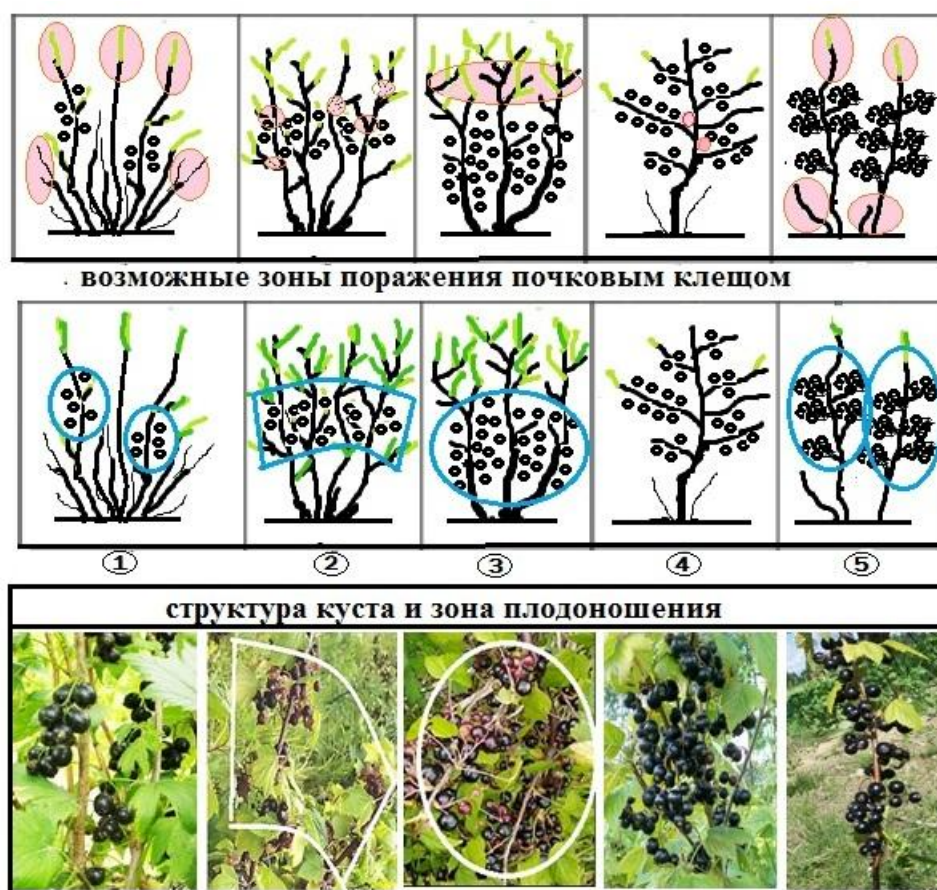


Рис. 12. Типовые группы структуры и архитектоники плодоношения чёрной смородины
Fig. 12. Typical groups of structure and fruiting structural pattern of black currant



Рис. 13. Комплекс кольчаток у сортов 3-й группы (слева) и плодоношение сортов 2-й группы (справа)
Fig. 13. Complex of artificial spurs in Group 3 varieties (left) and fruiting of Group 2 varieties (right)

Отсюда возникают предположения о возможности искусственного воздействия [15] на растения смородины (прищипки, контурная обрезка, применение ингибиторов роста, высота посадки растения, перевод на штамб и т. д.) для имитации определенной структуры куста и соответствующей для нее архитектоники плодоношения. В частности, перспективно повысить апикальное доминирование скелетных ветвей сортов 1-й и 2-й групп. Это можно выполнить селекционным путём, скрещивая с сортами 5-й группы. Именно так, как оказалось, и был получен перспективный образец 8-20-9, но подбор вариантов скрещивания,

видимо, был по другим параметрам. Для образцов 5-й группы перспективно придать способность к высокому росту скелетных ветвей и дополнительную выносливость и устойчивость. Высокие образцы прямостоячего габитуса есть среди сортов 3-й и 4-й группы.

Выводы

По совокупности особенностей для создания механизированной технологии более всего пригодны сорта 1-й и 4-й групп.

В отношении сортов 1-й группы следует использовать их побеговосстановительную способность и возможность смены ветвей (в случае повреждений) для периодического восстановления надземной части. Отмечена лёгкость сбора ягод при данной структуре.

В отношении сортов 4-й группы возможны более плотные схемы посадки и применение системы залужения междурядий, что даст экономический эффект за счет исключения некоторых технологических операций и увеличения количества растений на единицу площади. Предполагается перспективность контурной обрезки, но требуются дополнительные исследования в этом направлении. Сорта устойчивы к фитофагам и заболеваниям, так как обладают коротким интервалом ростовой активности в сезоне. Отсутствует непродуктивное ветвление, что облегчает механизированный сбор ягод. Но возможно повреждение кольчаток с полной потерей продуктивности у некоторых сортообразцов, что требует соответствующей проверки.

В отношении групп сортов малопригодных для применения механизации – есть первоначальные наши исследования о возможности искусственно перестроить структуру и архитектуру некоторых сортов в более оптимальную, но это требует применения регулярной обрезки.

В отношении селекции желательно провести скрещивание сортов 5-й группы и 1-й группы для получения высокорослых и прямостоячих гибридов с кольчаточным типом плодоношения скелетных ветвей, хорошей побеговосстановительной способностью и полноценной регенерацией нулевых побегов замещения. Такие гибриды были бы идеальны для механизированной технологии выращивания.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Родюкова О.С. Адаптивный и продуктивный потенциалы генетической коллекции смородины чёрной // Современные тенденции устойчивого развития садоводства России (смородина, крыжовник). Сб. науч. тр. Воронеж: Кварта. 2018: 225-243. EDN: ZBJLVJ
2. Нефёдов В.В. Влияние особенностей почвенного профиля на состояние и урожай насаждений чёрной смородины // Вестник защиты растений. 2018. №4(98). С. 70-72. EDN: YXTZON
3. Сидорова Л.М., Скрипникова М.К. Чеснокова И.Н. Влияние омолаживающей обрезки на фитосанитарное состояние насаждений чёрной смородины // Проблемы агроэкологии и адаптивность сортов в современном садоводстве России. Матер. Всеросс. науч.-метод. конф. (Орел, 01-04 июля 2008 г.). Орел: ВНИИСПК. 2008. С. 242-246. EDN: YHAVLV
4. Утков Ю.А., Сорокопудов В.Н., Медведев С.М. Механизированный сбор ягод смородины чёрной в России и новые подходы к оценке пригодности сортов к машинному воздействию // Вестник Курской ГСХА. 2018. №7. С. 139-144. EDN: VMCIUG
5. Жидёхина Т.В. Эффективность ежегодной обрезки при возделывании сортов смородины интенсивного типа // Современное садоводство. 2010. №1(1). С. 56-59. EDN: NDDPXH

6. Нефедов В.В., Павлюшин В.А. Оценка сортов чёрной смородины для механизированного сбора ягод // АгроЭкоИнженерия. 2025. № 1(122). С. 35-50. EDN: SGLRYU
7. Шавыркина М.А., Князев С.Д., Товарницкая М.В. Оценка потенциальной продуктивности перспективных форм смородины черной и степени её реализации. // Современные решения в развитии сельскохозяйственной науки и производства. Сб. тр. конф. (Краснодар, 26-30 июля 2016 г.). Краснодар: ИП Синяев Д.Н. 2016. С. 244-248. EDN: XGQXFL
8. Нефёдов В.В. Оценка местоположения плантаций и усовершенствование технологии выращивания чёрной смородины на Северо-Западе России. Дисс ... канд. с.-х. наук. СПб. 1991. 129 с.
9. Стазаева Н. В. Влияние агротехнических факторов на формирование урожайности смородины черной // Инновационные технологии в плодоводстве, овощеводстве и декоративном садоводстве. Матер. межд. науч.-практ. конф. (Воронеж, 15-16 октября 2015 г.) / Под ред. Р.Г. Ноздрачевой, С.Я. Мухортова. Воронеж: Воронежский ГАУ. 2015. С. 93-99 EDN: VDYWLX
10. Макова Н.Е., Богданов О.Е. Статистические свойства показателей роста и плодоношения смородины // Вестник КрасГАУ. 2020. №1(154). С. 12-17 EDN: HVJQOF
11. Зейналов А.С. Урожайность и фитосанитарное состояние омоложенных насаждений смородины чёрной через год после срезки. // Плодоводство и ягодоводство России. 2004. Т11. С. 431-441. EDN: PDEFOD
12. Тихонова О.А., Сабитов А.Ш. Генофонд чёрной смородины ВИР для селекции // Идеи Н. И. Вавилова в современном мире. Тезисы докладов IV Вавиловской Межд. конф. (Санкт-Петербург, 20-24 ноября 2017 г.) Санкт-Петербург: ВИР. 2017. С. 319-320. EDN: ZXVDJX
13. Суховецкая В.А., Кыстаубаева А.С. Перспективные сорта черной смородины и способы их размножения // Наука и мир. 2015. № 3-2 (19). С.154-156. EDN: TMNGAJ
14. Князев С.Д., Пискунова А.В., Келдибекова М.А., Товарницкая М.В. Использование генетических ресурсов и современных методов селекции при создании сортов чёрной смородины с высоким уровнем адаптации // Современные тенденции устойчивого развития садоводства России (смородина, крыжовник). Сб. науч. тр. Воронеж: Кварта. 2018. С. 120-139. EDN: ZBJLQD
15. Юнин В.А., Зыков А.В., Егорова К.И. Урожайность черной смородины в зависимости от способов формирования куста // АгроЭкоИнженерия. 2024. № 1 (118) С. 33-43 <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-1118-33-43>

REFERENCES

1. Rodyukova O.S. Adaptive and productive potentials of the genetic collection of black currant. In: Modern trends in the sustainable development of horticulture in Russia (currant, gooseberry). Collection of Scientific Papers. Voronezh: Kvarta. 2018: 225-243. (In Russ.) EDN: ZBJLVJ
2. Nefedov V.V. The influence of characteristics of soil profile on the status and harvest of black currant plantations. Vestnik zashchity rastenii = Plant Protection News. 2018;4(98):70-72. (In Russ.) EDN: YXTZOH
3. Sidorova L.M., Skripnikova M.K., Chesnokova I.N. The effect of rejuvenating pruning on the phytosanitary condition of black currant plantations. In: Problems of Horticultural Ecology and Cultivar Adaptability in Modern Horticulture of Russia. Proc. All-Russia Sci. Methodical Conf.

(Orel, 1-4 July 2008). Orel: Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding. 2008: 242-246 (In Russ.) EDN: YHAVLV

4. Utkov Yu.A., Sorokopudov V.N., Medvedev S.M. Mechanized harvesting of black currant berries in Russia and new approaches to assessing the suitability of varieties for machine effects. Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skoxozyajstvennoj akademii = Vestnik of the Kursk State Agricultural Academy. 2018;7:139-144. (In Russ.) EDN: VMCIUG

5. Zhidyokhina T.V. Efficiency of annual pruning during production of currant cultivars of intensive type. Sovremennoe sadovodstvo = Contemporary Horticulture. 2010;1(1):56-59. (In Russ.) EDN: NDDPXH

6. Nefedov V.V., Pavlyushin V.A. Evaluation of blackcurrant varieties for mechanized berry harvesting. AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering. 2025;1(122):35-50. (In Russ.) EDN: SGLRYU

7. Shavyrkina M.A., Knyazev S.D., Tovarnitskaya M.V. Assessment of the potential productivity of promising forms of black currant and the degree of its realization. In: Modern solutions in the development of agricultural science and production. Conf. Proc. (Krasnodar, July 26-30, 2016). Krasnodar: IP Sinyayev D.N. 2016: 244-248. (In Russ.) EDN: XGQXFL

8. Nefedov V.V. Assessment of plantation locations and improvement of black currant cultivation technology in the North-West of Russia. Diss ... Cand. Sc. (Agriculture). Samokhvalovich, Minsk Region. 1990: 111-114. (In Russ.)

9. Stazaeva N.V. Influence of agrotechnical factors on the formation of blackcurrant yield. In: Innovative technologies in horticulture, vegetable growing and ornamental horticulture. Proc. Int. Sci. Prac. Conf. (Voronezh, 15-16 October 2015) / R.G. Nozdracheva, S.Y. Mukhortov (eds.). Voronezh: Voronezh SAU. 2015: 93-99 (In Russ.) EDN: VDYWLX

10. Makova N.E., Bogdanov O.E. Statistical properties of indicators of growth and fruiting of currants. Vestnik KrasGAU = Bulletin of KSAU. 2020;1(154):12-17 (In Russ.) EDN: HVJQOF

11. Zeynalov A.S. Yielding capacity and phytosanitary status of rejuvenated blackcurrant plantations one year after cutting. Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii = Pomiculture and Small Fruits Culture in Russia. 2004;11:431-441. (In Russ.) EDN: PDEFOD

12. Tikhonova O.A., Sabitov A.Sh. Black currant genofond of VIR for breeding. In: N. I. Vavilov's Ideas in the Modern World. Abstracts of the IV Vavilov Int. Conf. (Saint Petersburg, November 20-24, 2017) Saint Petersburg: VIR. 2017: 319-320. (In Russ.) EDN: ZXVDJX

13. Sukhovetskaya V.A., Kystaubaeva A.S. Perspective sorts of the black currant and ways of their reproduction. Nauka i mir = Science and World. 2015;3-2(19):154-156 (In Russ.).

14. Knyazev S.D., Piskunova A.V., Keldibekova M.A., Tovarnitskaya M.V. The use of genetic resources and modern breeding methods in creating varieties of black currant with a high level of adaptation. In: Modern trends in the sustainable development of horticulture in Russia (currant, gooseberry). Collection of Scientific Papers. Voronezh: Kvarta. 2018:120-139. (In Russ.) EDN: ZBJLQD

15. Yunin V.A., Zykov A.V., Egorova K.I. Black currant yielding capacity depending on bush shaping methods. AgroEcoEngineering. 2024;1(118): 33-43. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-1118-33-43>

Об авторе	About the author
Нефёдов Всеволод Васильевич, канд. биол. наук, ведущий агроном	Vsevolod V. Nefedov Cand. Sc. (Biology), leading agronomist of the

лаборатории сельскохозяйственной энтомологии Всероссийского научно-исследовательского института защиты растений. Санкт-Петербург-Пушкин, ш. Подбельского, д. 3 vsevnef@mail.ru	laboratory of agricultural entomology, All-Russian Research Institute of Plant Protection (VIZR), Saint-Petersburg-Pushkin, Podbelskogo Shosse, 3 vsevnef@mail.ru
Заявленный вклад автора Нефедов В.В. – общее руководство проектом, анализ и формирование текста статьи.	Author's contribution Nefedov V. V. – general project management, analysis and creation of the article's text.
Конфликт интересов Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов	Conflict of interests The author declares no conflicts of interests.
Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи к публикации	The author has read and agreed to the published version of the manuscript.
Статья поступила в редакцию: 19.02.2025	Received: 19.02.2025
Одобрена после рецензирования: 26.07.2025	Approved after reviewing: 26.07.2025
Принята к публикации: 11.01.2025	Accepted for publication: 11.11.2025

Научная статья

УДК 634.11:631.11

DOI 10.24412/2713-2641-2025-4125-51-61

ВЕРТИКАЛЬНЫЕ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ ФОРМИРОВКИ ЯБЛОНИ В ИНТЕНСИВНЫХ МАТОЧНО-ЧЕРЕНКОВЫХ САДАХ

Безух Евгений Петрович¹, Зыков Андрей Владимирович^{2✉},
Юнин Вячеслав Александрович³

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства
(ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

¹info@petrosad.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3444-0632>

²info@petrosad.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3435-7468>

³info@petrosad.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8111-1727>

Аннотация. В статье рассматриваются два варианта формирования маточных растений яблони в интенсивных черенковых насаждениях. Цель исследований заключалась в сравнительной оценке морфологических показателей формирования маточно-черенковых растений яблони при вертикальной и горизонтальной формировке. В ходе исследования проводилась их сравнительная оценка по биометрическим показателям: длине, диаметру и количеству побегов. Наблюдения велись на заложенных однолетних саженцах 6 сортов яблони, привитых на сеянцы Антоновки обыкновенной. Использовались два вида формировки – вертикальная луговая и горизонтальная луговая, со схемами посадки

междурядья 150 см в ряду 100 см. Представленные в статье результаты получены в течение 2024 года. В результате проведенных исследований выявлено, что маточные растения даже на 16 год их эксплуатации не снижают показатели прироста и выход качественного материала, как при вертикальной, так и горизонтальной системах формирования. Средний прирост однолетних побегов за год составил при вертикальной формировке 118 см, а при горизонтальной – 120,5 см соответственно. Отличия в росте между формировками не наблюдалось, то же можно сказать и о диаметре черенков. Однако по продуктивности горизонтальная формировка оказалась эффективнее. С одного маточного растения яблони сорта Звездочка получено 740 тысяч стандартных черенков на одном гектаре (однолетних ветвей), тогда как с одного маточного растения при вертикальной формировке – в среднем всего 431,1 тысяч стандартных черенков на одном гектаре. Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что ростовые процессы маточных растений в интенсивных маточниках вертикального и горизонтального типа не отличались друг от друга, но несмотря на одинаковые затраты на содержание маточников наиболее эффективные результаты показал интенсивный маточник горизонтального типа.

Ключевые слова: яблоня, маточно-черенковый сад, вертикальный тип формирования, горизонтальный тип формирования, маточные растения, биометрические показатели, продуктивность

Для цитирования: Безух Е.П., Зыков А.В., Юнин В.А. Вертикальные и горизонтальные формирования яблони в интенсивных маточно-черенковых садах // АгроЭкоИнженерия. 2025. № 4 (125) С. 51-61 <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-4125-51-61>

Research article

Universal Decimal Code 634.11:631.11

VERTICAL AND HORIZONTAL APPLE TREE SHAPING IN INTENSIVE CUTTING-PRODUCING MOTHER PLANTATIONS

Evgeny P. Bezukh¹, Andrey V. Zykov^{2✉}, Vyacheslav A. Yunin³

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia

¹info@petrosad.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3444-0632>

²info@petrosad.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3435-7468>

³info@petrosad.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8111-1727>

Abstract. The article discusses two options for forming mother apple trees in intensive cutting-producing plantations. The study aim was to compare and evaluate the morphological indicators of training the mother apple trees grown for cuttings under vertical and horizontal shaping. The study made the comparative assessment of plants by biometric indicators such as the length, diameter, and number of shoots. The observations took place on established one-year-old seedling plantations of six apple tree varieties grafted onto Antonovka apple seedlings. The study used two shaping types: vertical “meadow” shaping and horizontal “meadow” shaping, with the planting patterns of 150 cm row spacing in a 100 cm row. The article presents the study results in

2024. The conducted studies revealed that even after 16 years of use the mother plants maintained their growth gain rates and the yield of high-quality material, both in vertical and horizontal shaping systems. The average one-year-old shoot growth gain was 118 cm per year under vertical shaping, and 120.5 cm – under horizontal shaping. There were no differences in growth between the shaping types. The same can be said about the diameter of cuttings. Yet, horizontal shaping proved to be more effective in terms of productivity. One mother apple tree of Zvezdochka variety yielded 740 thousand standard cuttings (one-year-old branches) per hectare under horizontal shaping. One mother plant with vertical shaping yielded only 431.1 thousand standard cuttings per hectare average. The conducted study allows concluding that the growth processes in mother plants in intensive vertical and horizontal mother plantations did not differ. Yet, intensive horizontal mother plantations demonstrated the most effective results under the same maintenance costs.

Key words: apple tree, cutting-producing mother plantation, vertical shaping, horizontal shaping, mother plants, biometric indicators, productivity

For citation: Bezukh E.P., Zykov A.V., Yunin V.A. Vertical and horizontal apple tree shaping in intensive cutting-producing mother plantations. *AgroEcoEngineering*. 2025;4(125): 51-61. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-4125-51-61>

Введение. Маточно-черенковые насаждения являются неотъемлемой и обязательной частью питомника, производящего собственный посадочный материал. Формирование данных посадок организуется с целью снабжения питомника высококачественным здоровым и чистосортным привойным материалом, причем привойный материал может быть как в качестве вызревших стандартных однолетних черенков, так и в качестве получения почек-глазков. Первые используются для зимней и весенней прививки, а вторые – для летней окулировки. Разработки по совершенствованию технологий ведения маточно-черенковых насаждений плодовых культур проводятся давно и достигли к настоящему времени определенного прогресса [1]. Научные исследования проводятся по совершенствованию схем посадки маточных растений, систем их содержания и формирования, содержанию почвы в междурядьях и рядах, включая мульчирование, подготовке и качеству высаживаемых маточных растений и так далее. [2] Современные разработки для повышения количества выходной продукции используют интенсивные технологии, включающие уплотненные схемы посадки и новые системы формирования маточных растений [3, 4, 5].

Выявлено, что в условиях Северо-Запада России для посадки необходимо использовать саженцы сортов, привитых на устойчивых семенных подвоях, производя прививку в области корневой шейки и избегать образование высокого штамба (по луговому типу), чтобы максимально снизить высоту маточного растения и облегчить заготовку черенков без использования средств малой механизации [6]. В области формирования маточных растений используются как системы вертикального, так и горизонтального содержания. Подобные разработки проводились и проводятся в ФГБНУ ФНЦ Садоводства (г. Москва), ФГБНУ ФНЦ им. И.В. Мичурина (г. Мичуринск), ФГБНУ СКФНЦСВВ (г. Краснодар) [7, 8].

Для Северо-Западного региона России технологии ведения маточно-черенковых насаждений плодовых культур разработаны в ИАЭП - филиале ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (г. Санкт-Петербург) [9, 10].

Цель исследований сравнительная оценка морфологических показателей формирования маточно-черенковых растений яблони при вертикальной и горизонтальной формировке.

Объекты и методы исследований. Научные исследования в черенковых маточниках плодовых культур были проведены на экспериментальной базе ИАЭП – филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (п. Красная Славянка). Маточно-черенковый сад был заложен однолетними саженцами 6 сортов яблони, привитыми на сеянцы Антоновки обыкновенной, двух видов формировки – вертикальной луговой и горизонтальной луговой, со схемами посадки междурядья 150 см в ряду 100 см. (рис.1, 2).



Рис. 1. Маточные растения яблони, сформированные по вертикальному типу в начальной стадии

Fig. 1. Mother apple trees shaped by the vertical type in the initial stage



Рис. 2. Маточные растения яблони, сформированные по горизонтальному типу в начальной стадии

Fig. 2. Mother apple trees shaped by the horizontal type in the initial stage

Саженцы были выращены с использованием зимней прививки с закрытой корневой системой в пленочных необогреваемых теплицах. Прививка осуществлялась в конце февраля 2-х почковым черенком в корневую шейку подвоя. Первоначально почва в рядах подвергалась мульчированию толстой черной полиэтиленовой пленкой и тканым

материалом черного цвета (рогожкой). Сразу же после посадки надземная часть саженцев была обрезана с оставлением трех-четырех почек. При вертикальной формировке из этих почек вырастали побеги, из которых заготовили однолетние черенки (ветви) с оставлением на маточном растении 2-3 почек и так далее. При горизонтальной формировке осенью оставляли три ветви. Одну ветвь срезали на 2-3 почки, как правило, верхнюю, а нижние две ветви отгибали до горизонтального положения вдоль ряда, связывая с соседними ветвями в ряду. Впоследствии на горизонтальных ветвях формировали побеги, которые и заготавливали в качестве черенков (ветвей). За маточными растениями регулярно велись наблюдения. Представленные данные материалы охватывают 2024 год, то есть 16-й год эксплуатации интенсивного черенкового маточника.

Учеты, наблюдения, анализы и обработку данных в исследованиях проводили согласно общепринятой в плодоводстве методике [11]. Оценку качества черенков яблони осуществляли на основании существующего ГОСТ Р 59653-2021 [12]. Статистическую обработку результатов исследований осуществляли методом дисперсионного анализа [13, 14].

Результаты. В результате проведенных исследований выявлено, что маточные растения даже на 16-й год их эксплуатации росли хорошо, как при вертикальной, так и горизонтальной системах формировки (рис. 3, 4).



а)

б) b)

Рис. 3. Вертикальная формировка маточных растений яблони
а) вегетационный период 2024 года; б) после заготовки черенков, ноябрь 2024 г.

Fig. 3. Vertical shaping of mother apple trees
a) the growing season of 2024; b) after harvesting the cuttings, November 2024



а)

б) b)

Рис. 4. Горизонтальная формировка маточных растений яблони
а) вегетационный период 2024 года; б) после заготовки черенков, ноябрь 2024 г.

Fig. 4. Horizontal shaping of mother apple trees
a) the growing season of 2024; b) after harvesting the cuttings, November 2024

Средний прирост однолетних побегов за год составил при вертикальной формировке 118 см, а при горизонтальной – 120,5 см соответственно. Отличия в росте между формировками не наблюдалось, то же можно сказать и о диаметре черенков (табл. 1).

Таблица 1. Биометрические показатели и выход однолетних ветвей яблони с интенсивного вертикального и горизонтального маточника, сентябрь 2024 г.

Table 1. Biometric indicators and the yield of one-year-old apple tree branches in intensive vertical and horizontal mother plantations, September 2024

Схема посадки, см	Сорт	Выход побегов с 1 растения, шт.	Средняя длина побегов, см	Средний диаметр побегов, мм	Выход побегов с 1 га, тыс. шт.
Вертикальная формировка					
100 x 150	Ладога	63	118	10,0	420,0
	Душистое	64	119	10,3	426,7
	Теллисааре	67	117	10,2	446,7
	Среднее	64,7	118	10,2	431,1
Горизонтальная формировка					
100 x 150	Коричное полосатое	102	121	9,7	680,0
	Звездочка	120	120	9,9	800,0
	Среднее	111,0	120,5	9,8	740,0
НСР ₀₅		10,72	3,41	1,89	21,22

Однако по продуктивности горизонтальная формировка оказалась намного эффективнее. С одного маточного растения сорта Звездочка получено 120 стандартных черенков (однолетних ветвей), тогда как с одного маточного растения при вертикальной формировке в среднем всего 64,7 шт. В пересчете на 1 га получается 740,0 тыс. шт. против 431,1 тыс. шт., а это в 1,7 раза больше.

Продуктивность насаждения скорее всего связана с биометрическими показателями маточных растений (табл. 2).

Таблица 2. Параметры маточных растений яблони при их ведении по вертикальному и горизонтальному типу формировки на 16 год эксплуатации.

Table 2. Parameters of mother apple trees with vertical and horizontal type of shaping on the 16th year of use

Схема посадки, см	Сорт	Длина ветвей в сторону ряда, см	Длина ветвей в сторону междурядья, см	Высота маточного растения, см	Объем маточного растения, м ³
Вертикальная формировка					
100 x 150	Ладога	70	110	150	1,155
	Душистое	65	120	150	1,170
	Теллисааре	75	110	160	1,320
	Среднее	70	113	153	1,215
Горизонтальная формировка					
100 x 150	Коричное полосатое	120	140	180	3,024
	Звездочка	130	135	190	3,335
	Среднее	125	138	185	3,180
НСР ₀₅		10,56	10,12	11,23	1,01

Обсуждение. Длина ветвей в сторону ряда при вертикальной формировке была в 1,8 раза короче, чем при горизонтальной формировке, у которой несколько длиннее ветви были и в сторону междурядий. Отличались маточные растения в различных системах формировки и по высоте – 153 см против 185 см. В целом по расчетам выявлено, что объем надземной части растений при горизонтальной системе формировки был в среднем в 2,6 раза больше, чем при вертикальной системе.

Выводы. Ростовые процессы маточных растений в интенсивных маточниках вертикального и горизонтального типа не отличались друг от друга. К концу сезона они дали стандартные черенки (однолетние ветви). Продуктивность маточников в значительной степени зависела от его типа. Горизонтальный маточник дал в расчете на 1 га 740 тыс. шт. стандартных черенков (однолетних ветвей), что в 1,7 раза больше чем вертикальный. Отличались маточные растения в насаждениях и по своему размеру надземной части. В целом средний объем надземной части растения в горизонтальном маточнике был 3,180 куб. м., что в 2,6 раза больше, чем при вертикальной системе. Проведенные исследования доказывают, что несмотря на одинаковые затраты на содержание маточников наиболее эффективные результаты показал интенсивный маточник горизонтального типа.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кондратьева О. В., Федоров А. Д., Слинько О. В. Инновационные технологии выращивания посадочного материала плодово-ягодных культур // Техника и оборудование для села. 2020. № 11(281). С. 29-31. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-11-29-31>
2. Селиванова М. В., Айсанов Т. С., Есаулко Н. А., Романенко Е.С., Вдовыдченко И.Ю. Агробиологическая оценка сортов яблони в условиях маточно-черенкового сада // Аграрный вестник Северного Кавказа. 2024. № 3(55). С. 34-39. <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2024-16-55-34-39>
3. Самусь В. А., Гаджиев С. Г., Левшунов В.А. Оздоровленный коммерческий сортимент яблони, груши и их клоновых подвоев // Наше сельское хозяйство. 2022. № 15(287). С. 99-103. EDN: CJFEYC

4. Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П., Кондратьева О.В., Федоров А.Д., Слинко О.В. Анализ состояния и перспективные направления развития питомниководства и садоводства: науч. аналит. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех». 2019. 88 с. URL: <https://bigenc.ru/b/analiz-sostoianii-i-perspek-9b0970>
5. Атажанова Е. В., Лукичева Л. А. Анализ состояния и мировые тенденции выращивания и селекции яблони // Биология растений и садоводство: теория, инновации. 2021. №160. С. 76-85. <https://doi.org/10.36305/2712-7788-2021-3-160-76-85>
6. Мережко О.Е., Борисова А.А., Аминова Е.В. Сравнительное изучение насаждений яблони на семенных и клоновых подвоях в условиях степной зоны Южного Урала // Садоводство и виноградарство. 2021. № 3. С. 50-56. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2021-3-50-56>
7. Красова Н. Г. Биоресурсная коллекция яблони ВНИИСПК. Формирование, изучение, использование: монография. Орёл: ВНИИСПК. 2024. 256 с. URL: <https://www.cnsnb.ru/content/2024/04386655.pdf>
8. Красова Н.Г., Ожерельева З.Е., Галашева А.М. и др. Оценка адаптивности и качества плодов сортов яблони для интенсивных садов // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022. № 183(4). С 48-59. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-4-48-59>
9. Безух Е. П., В. А. Юнин., Зыков А.В., Выращивание привойного материала яблони и груши в интенсивных маточно-черенковых насаждениях // Аграрный научный журнал. 2024. № 5. С. 9-18. <https://doi.org/10.28983/asj.y2024i5pp9-18>
10. Безух Е.П., Зыков А.В., Юнин В.А., Егорова К.И. Сроки эксплуатации интенсивных маточно-черенковых насаждений яблони и груши // АгроЭкоИнженерия. 2023. №2(115). С. 46-59 <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-2115-46-59>
11. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур / под ред. Е.Н. Седова и Т.П. Огольцовой. Орел: Изд-во ВНИИСПК. 1999. 608 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/437015460>
12. Перспективы развития садоводства и садово-паркового строительства: коллективная монография / Под ред. А.К. Раджабова, А.А. Миронова. М.: Мегapolis. 2022. 490 с. EDN: JRVTKL
13. Кривко Н.П., Агафонов Е.В., Чулков В.В. и др. Плодоводство: учебное пособие для вузов / под ред. Н.П. Кривко. СПб.: Лань. 2022. 416 с.
14. Мухортов С.Я. Практикум по основам научных исследований в садоводстве: учебное пособие. Воронеж: Воронежский ГАУ. 2018. 287 с. URL: <https://e.lanbook.com/book/178921>

REFERENCES

1. Kondratyeva O.V., Fedorov A.D., Slinko O. V. Innovative technologies for growing planting material for fruit and berry crops. Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area. 2020;11(281):29-31. (In Russ.) <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2020-11-29-31>
2. Selivanova M.V., Aisanov T.S., Esaulko N.A., Romanenko E.S., Vdovydchenko I.Iu. Agrobiological assessment of apple varieties in the conditions of a mother-cut orchard. Agrarnyi vestnik Severnogo Kavkaza = Agrarian Bulletin of the North Caucasus. 2024;3(55):34-39. (In Russ.) <https://doi.org/10.31279/2949-4796-2024-16-55-34-39>
3. Samus V.A., Gadzhiev S.G., Levshunov V.A. Rendered healthy commercial range of varieties of apple trees, pears and their clonal rootstocks. Nashe sel'skoe khozyaistvo = Our Agriculture. 2022;15(287): 99-103. (In Russ.) EDN: CJFEYC
4. Fedorenko V. F., Mishurov N. P., Kondratieva O. V., Fedorov A. D., Slinko O. V. Analysis of the state and perspective directions of development of nursery and horticulture: scientific analytical review. Moscow: Rosinformagrotech. 2019. 88 p. (In Russ.) URL: <https://bigenc.ru/b/analiz-sostoianii-i-perspek-9b0970>

5. Atazhanova E.V., Lukicheva L.A. Analysis of the state and global trends in the cultivation and breeding of apple trees. *Biologiya rastenii i sadovodstvo: teoriya, innovatsii* = Plant Biology and Horticulture: Theory, Innovation. 2021;(160):76-85. (In Russ.) <https://doi.org/10.36305/2712-7788-2021-3-160-76-85>

6. Merezhko O.E., Borisova A.A., Aminova E.V. Comparative study of apple plantations on seed and clonal stocks in the steppe zone of the Southern Urals. *Sadovodstvo i vinogradarstvo* = Horticulture and Viticulture. 2021;(3):50-56. (In Russ.) <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2021-3-50-56>

7. Krasova N. G. Bioresource apple tree collection of VNIISPK. Formation, study, use: monograph. Orel: VNIISPK. 2024. 256 p. (In Russ.) URL: <https://www.cnsnb.ru/content/2024/04386655.pdf>

8. Krasova N.G., Ozherelieva Z.E., Galasheva A.M., Makarkina M.A., Lupin M.V. Assessment of adaptability and fruit quality in new apple cultivars for intensive orchards. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i seleksii* = Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2022;183(4):48-59. (In Russ.) <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-4-48-59>

9. Bezukh E. P., Yunin V. A., Zykov A.V. Cultivation of graft material of apple and pear trees in intensive uterine cuttings plantations. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2024;5:9-18. (In Russ.) <https://doi.org/10.28983/asj.y2024i5pp9-18>

10. Bezukh E.P., Zykov A.V., Yunin V.A., Egorova K.I. Useful life of intensive mother plantations of apple and pear trees. *AgroEkoInzheneriya* = AgroEcoEngineering. 2023;2(115):46-59 (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-2115-46-59>

11. Sedov E.N., Ogoltsova T.P. (eds.) Programme and methodology of varietal studies of fruit, berry and nut crops. Orel: VNIISPK. 1999. 608 p. (In Russ.) URL: <https://docs.cntd.ru/document/437015460>

12. Radzhabov A.K., Mironov A.A. (eds.) Prospects for the development of horticulture and garden and park construction: multi-authored monograph. Moscow: Megapolis Publ. 2022. 490 p. (In Russ.) EDN: JRVTKL

13. Krivko N.P., Agafonov E.V., Chulkov V.V. at al. Fruit Growing: a textbook for universities. N.P. Krivko (ed.). Saint Petersburg: Lan Publ. 2022. 416 p. (In Russ.)

14. Mukhortov S. Ya. Practical training on the basics of scientific research in horticulture: a textbook. Voronezh: Voronezh State University. 2018. 287 p. (In Russ.) URL: <https://e.lanbook.com/book/178921>

Об авторах	About the authors
Евгений Петрович Безух канд. с.-х. наук; ведущий специалист, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал Федерального научный агроинженерный центр ВИМ» (196634, Россия, г. Санкт-Петербург, п. Тярлево, Филътровское ш., д. 3) info@petrosad.ru https://orcid.org/0000-0002-3444-0632	Evgeny P. Bezukh, Cand. Sc. (Agriculture), lead specialist, Advisory and Expert Department, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production - branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 3, Filtrovskoje Shosse, Tiarlevo, Saint Petersburg, 196634, Russia info@petrosad.ru https://orcid.org/0000-0002-3444-0632
Андрей Владимирович Зыков, научный сотрудник, отдел агроэкологии в садоводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного	Andrey V. Zykov, researcher, Department of Agroecology in Horticulture, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production - branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 196634,

производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», 196634, г. Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Филтровское шоссе, д. 3, Россия sznii@inrternet.ru, ResearcherID: A-7155-2015. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3435-7468	Saint Petersburg, Tiarlevo, Filtrovskoje Shosse, 3, Russia sznii@inrternet.ru, ResearcherID: A-7155-2015, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3435-7468
Вячеслав Александрович Юнин, канд. техн. наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела агроэкологии в садоводстве Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиала ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 196634, г. Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Филтровское шоссе, д. 3, Россия yunin.slava@mail.ru ResearcherID: AAB-7686-2019 ORCID 0000-0002-8111-1727	Vyacheslav A. Yunin, Cand. Sc. (Engineering), senior researcher, Department of Agroecology in Horticulture, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 196634, Saint Petersburg, Tiarlevo, Filtrovskoje Shosse, 3, Russia yunin.slava@mail.ru ResearcherID: AAB-7686-2019 ORCID 0000-0002-8111-1727
Заявленный вклад авторов В.А. Юнин – руководство исследованием, формальный анализ, концептуализация, редактирование. Е.П. Безух – сбор, анализ и обобщение литературных данных, создание черновика рукописи, оформление окончательного варианта рукописи. А.В. Зыков – сбор и обобщение литературных данных, создание черновика рукописи, оформление окончательного варианта рукописи.	Authors' contribution V.A. Yunin – research supervision, formal analysis, conceptualization, editing. E.P. Bezukh – collection, analysis and synthesis of literary data, creation of a draft manuscript, design of the final version of the manuscript. A.V. Zykov – collection and synthesis of literary data, creation of a draft manuscript, design of the final version of the manuscript.
Конфликт интересов Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	Conflict of interests The authors declare no conflict of interest.
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи к публикации.	The authors have read and approved the final version of the manuscript for publication.
Статья поступила в редакцию: 07.04.2025	Received: 07.04.2025
Одобрена после рецензирования: 21.08.2025	Approved after reviewing: 21.08.2025
Принята к публикации: 11.11.2025	Accepted for publication: 11.11.2025

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ ПРИ ИЗМЕЛЬЧЕНИИ ОВСА

Абалихин Антон Михайлович¹, Барабанов Дмитрий Владимирович²,
Крупин Александр Владимирович^{3✉}, Муханов Николай Вячеславович⁴

¹Индивидуальный предприниматель Поняев И.В.,

^{2, 3, 4}Верхневолжский государственный агробиотехнологический университет, Иваново,
Россия

¹anton-abalikhin@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8138-6317>

²barabanov_dmitry@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2199-8781>

³krupinav37@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0006-1810>

⁴nikem81@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1773-3625>

Аннотация. Овес, занимающий четвертое место среди зерновых культур в России, представляет собой ценную фуражную культуру, используемую для кормления сельскохозяйственных животных. В 2024 году валовый сбор овса составил 3023 тыс. тонн. Одной из главных проблем при его переработке является высокая энергоёмкость процесса измельчения, особенно при использовании молотковых дробилок. В качестве альтернативы предлагаются центробежные измельчители, которые благодаря своей конструкции позволяют значительно снизить удельный расход энергии. Целью проведённого исследования было определение оптимального режима работы центробежного измельчителя при измельчении фуражного овса. Оптимальным режимом работы измельчителя является работа с минимальной удельной энергоёмкостью процесса измельчения. Для проведения лабораторного исследования был создан центробежный измельчитель, активным рабочим органом которого был лопастной ротор, а пассивными рабочими органами – решето и дека с отбойниками. Исследование проведено по разработанной в соответствии с теорией планирования эксперимента методике, основанной на плане Бокса-Бенкина для трёхфакторного трёхуровневого эксперимента. Составлена модель работы измельчителя, согласно которой определяющими факторами, влияющими на удельную энергоёмкость, были частота вращения ротора, диаметр отверстий решет и площадь окна выгрузного бункера. На основе результатов проведенного трёхуровневого трёхфакторного эксперимента получена математическая модель, определяющая зависимость удельной энергоёмкости от указанных факторов. Анализ данной модели средствами дифференциального исчисления позволил установить оптимальный режим работы измельчителя при измельчении овса: частота вращения ротора 3500 мин⁻¹; диаметр отверстий решета 0,006 м; площадь выгрузного окна бункера 1,15·10⁻³ м². При данных режимных параметрах удельная энергоёмкость минимальна.

Ключевые слова: измельчитель центробежный, измельчение, овес, удельная энергоёмкость, производительность, потребляемая мощность, степень измельчения

Для цитирования: Абалихин А.М., Барабанов Д.В., Крупин А.В., Муханов Н.В. Оптимизация режима работы центробежного измельчителя при измельчении овса. // АгроЭкоИнженерия. 2025. № 4 (125). С. 61-74 <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-4125-61-74>

Research article

Universal Decimal Code 636.085.622; 631.363.21

OPTIMIZATION OF THE OPERATING MODE OF A CENTRIFUGAL OAT GRINDER

Anton M. Abalikhin ¹, Dmitry V. Barabanov ², Alexander V. Krupin ^{3✉}, Nikolay V. Mukhanov ⁴

¹Individual entrepreneur I.V. Ponyaev,
^{2,3,4}Verkhnevolzhsk State University of Agronomy and Biotechnology, Ivanovo, Russia

¹anton-abalikhin@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8138-6317>

²barabanov_dmitry@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2199-8781>

³krupinav37@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0006-1810>

⁴nikem81@rambler.ru; <https://orcid.org/0000-0003-1773-3625>

Abstract. Oats rank fourth among grain crops in Russia. It is a valuable fodder crop for farm animal feeding. In 2024, the gross yield of oats was 3,023 thousand tons. One of the main challenges in its processing is that the crushing process requires high energy inputs, especially when using hammer mills. To address this issue, centrifugal grinders are proposed as an alternative. The design of these machines offers an opportunity to reduce the specific energy consumption to a great extent. The study purpose was to determine the optimal operating mode of a centrifugal grinder for crushing the feed oats. This mode would use the least amount of energy for the grinding process. A centrifugal grinder was designed for the laboratory study. The grinder had a bladed rotor as an active working part and a sieve and deck with bumpers as the passive working parts. According to the theory of experimental design a methodology was developed for the study. It was based on the Box-Behnken design for a three-factor, three-level experiment. A model of the grinder operation was compiled. This model identified the three factors that most significantly affected the specific energy intensity. These were the rotor speed, the sieve hole diameter, and area of the hopper discharge opening. The three-level, three-factor experiment resulted in a mathematical model that determined the dependence of specific energy intensity on these factors. Analysis of this model by means of differential calculation made it possible to establish the optimal operating mode of the oats grinder. These were the rotor speed of 3500 min⁻¹; the sieve hole diameter of 0,006 m; and the discharge opening area of 1,15•10⁻³ m². These operating parameters provided the least specific energy intensity.

Key words: centrifugal grinder, grinding, oats, specific energy intensity, productivity, power consumption, grinding degree

For citation: Abalikhin A. M., Barabanov D. V., Krupin A. V., Mukhanov N. V. Optimization of the operating mode of a centrifugal oat grinder. AgroEcoEngineering. 2025; 4(125): 61-74 (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-4125-61-74>

Введение. Овес занимает четвертое место среди зерновых культур по объему производства в России – в 2024 году валовый сбор овса составил 3023 тыс. т¹. Овёс – ценная фуражная культура, широко используемая для кормления сельскохозяйственных животных и птицы. Его часто включают в рационы как концентрированный корм, особенно для лошадей, но также и для других видов, таких как крупный рогатый скот, свиньи и птица [1].

При этом овес, имеющий наибольшую пленчатость и вязкую структуру ядра из наиболее распространенных видов фуражного зерна, показывает наиболее высокий удельный расход энергии на измельчение. Так, если удельный расход энергии на измельчение пленчатого овса принять за 100 %, то при прочих равных условиях этот показатель при измельчении ячменя составит 80 %, а кукурузы – 57 % [2].

Как на предприятиях комбикормовой промышленности, так и в хозяйствах основные машины для измельчения фуражного зерна – это молотковые дробилки или аналогичные им устройства. Одним из основных их недостатков является высокая удельная энергоемкость процесса измельчения [3-9].

Альтернативой молотковым дробилкам служат центробежные измельчители, в которых измельчение зерна по большей части происходит при соударении с пассивным (неподвижным) рабочим органом, а лопатки ротора лишь обеспечивают разгон зерен до требуемой скорости – это первый фактор снижения удельной энергоемкости. Благодаря своевременной эвакуации частиц размола из рабочей камеры воздушным потоком, создающимся при вращении ротора, существенно сокращается степень переизмельчения материала – это второй фактор снижения удельной энергоемкости. Таким образом, центробежные измельчители, отличающиеся высокими показателями энергоэкономичности, являются перспективными техническими средствами для измельчения фуражного зерна [5, 8-10].

Цель исследования – определить оптимальный режим работы центробежного измельчителя при измельчении овса.

Материалы и методы исследования. Центробежный измельчитель [8] содержит раму с виброопорами, на которой смонтирован электродвигатель с клиноременной передачей, вращающей приводной вал, установленный в корпусе подшипников. Задняя крышка 1 (рис. 1а), крепящаяся к раме в совокупности с обечайкой 2, приваренной к задней крышке 1, и со съёмной передней крышкой (не показана на рисунке, на ней смонтирован оперативный бункер с регулировочной заслонкой [8]) образуют рабочую камеру измельчителя.

¹ Российский рынок овса в 2024 году – тенденции и прогнозы на 2025 год. [Электронный ресурс]. URL: <https://ab-centre.ru/news/rossiyskiy-rynok-ovsa-v-2024-godu---tendencii-i-prognozy> (дата обращения: 20.10.2025).

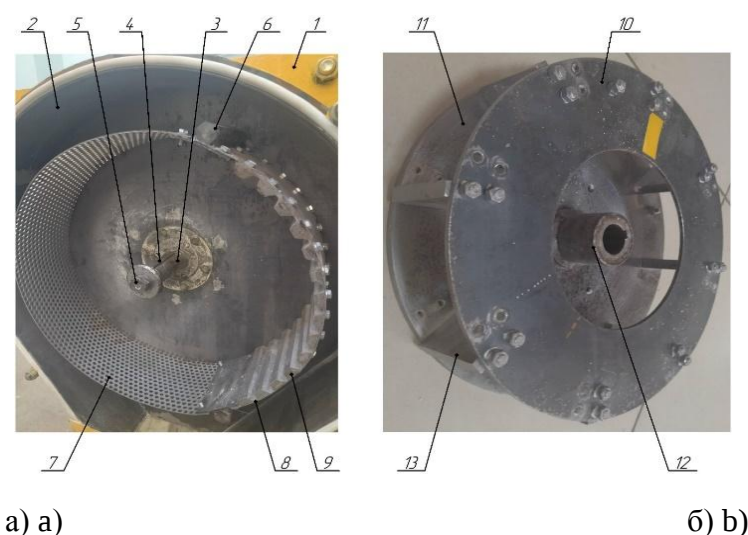


Рис. 1. Измельчитель центробежный
а) рабочая камера измельчителя; б) ротор

1 – крышка задняя; 2 – обечайка; 3 – вал приводной; 4 – шпонка; 5 – винт стопорный; 6 – кронштейн; 7 – решето; 8 – дека; 9 – отбойник; 10 – кольцо; 11 – диск; 12 – ступица; 13 – лопатка

Fig. 1. Centrifugal grinder
a) grinding chamber; b) rotor

1 – rear cover; 2 – shell ring; 3 – drive shaft; 4 – key; 5 – locking screw; 6 – bracket; 7 – sieve; 8 – deck; 9 – bump stop; 10 – ring; 11 – disk; 12 – hub; 13 – shoulder blade

Сквозь отверстие в задней стенке 1 рабочей камеры в нее помещен хвостовик приводного вала 3, на котором при помощи шпонки 4 и стопорного винта 5 крепится ротор. Также к задней стенке крепятся два кронштейна 6, к которым крепятся пассивные рабочие органы измельчителя – решето 7 и дека 8. Дека 8 образована изогнутой по радиусу решета пластиной с закрепленными на ней четырнадцатью отбойниками 9 трапециевидного сечения. Активный рабочий орган измельчителя – ротор (рис. 1б) состоит из кольца 10, диска 11 со ступицей 12 и восьми лопаток 13, закрепленных между кольцом 10 и диском 11.

При исследовании эффективности измельчения использовался овес сорта «Борпус» с влажностью 12%. Был реализован трехфакторный трехуровневый эксперимент в соответствии с планом Бокса-Бенкина. Уровни варьирования факторов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Уровни варьирования факторов
Table 1. Levels of factor variation

Уровень варьирования	Частота вращения ротора, n , мин^{-1}	Диаметр отверстий решета, d , м	Площадь выгрузного окна бункера, F , $\text{м}^2 \cdot 10^{-3}$
Нижний	2500	0,004	0,702
Нулевой	3000	0,006	1,08
Верхний	3500	0,008	1,458

Наиболее объективным показателем эффективности работы измельчителя является удельная энергоёмкость Θ , Вт·ч/(кг·ед.ст.изм.) [7, 11, 12], которая и являлась параметром оптимизации в ходе эксперимента.

В процессе проведения экспериментов удельная энергоёмкость с учетом степени измельчения Θ , Вт·ч/(кг·ед.ст.изм.), определялась по формуле:

$$\Theta = \frac{N}{Q \cdot \lambda}, \quad (1)$$

где N – потребляемая мощность, Вт;

Q – производительность измельчителя, кг/ч;

λ – степень измельчения.

Перед началом каждого опыта в рабочую камеру измельчителя монтировалось решето с требуемым диаметром отверстий; регулировочная заслонка устанавливалась в требуемое положение; включался электродвигатель и при помощи частотного преобразователя с контролем по тахометру устанавливалась требуемая частота вращения ротора. В оперативный бункер засыпалась порция подлежащего измельчению овса, зерна которого самотеком через загрузочную горловину поступали в рабочую камеру на вращающийся ротор. При движении по лопаткам вращающегося ротора происходил их разгон до скорости вылета 70-100 м/с [5]. При вылете с лопаток зерна летели на отбойники деки, при соударении с которыми происходило разрушение зерен. Образовавшиеся частицы размола потоком воздуха выносились сквозь отверстия решета в выгрузную горловину.

Если размер измельченных частиц велик для прохода сквозь отверстия решета, то они, вращаясь в воздушно-продуктовом слое, подвергались повторным соударениям с отбойниками деки до тех пор, пока не измельчались до величины, обеспечивающей возможность их прохода сквозь отверстия решета.

Выходящий из выгрузной горловины размол поступал в фильтр-мешок, закрепленный на фланце выгрузной горловины. По окончании измельчения порции зерна полученная порция размола извлекалась из фильтр-мешка, а он вновь устанавливался на выгрузную горловину.

В ходе каждого опыта определялась производительность измельчителя: по секундомеру измерялось время измельчения предварительно взвешенной порции зерна, затем вычислялось отношение массы порции к времени ее измельчения. Потребляемая электродвигателем мощность определялась по величине силы тока и напряжения в сети.

Далее из извлеченной из фильтр-мешка порции размола отбиралась проба массой 100 г и проводился её рассев на ситовом анализаторе с ситами с диаметром отверстий 5; 3; 2; 1; 0,5; 0,25 мм и дном. Весовой выход с каждого сита взвешивался на весах и средний размер частиц размола определялся на основе анализа данных гранулометрического состава по формуле:

$$d_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i \cdot p_i}{100}, \quad (2)$$

где d_i – средний размер отверстий двух смежных сит, мм;

p_i – весовой выход (масса) класса, г.

Степень измельчения материала определялась как отношение среднего размера частиц исходного материала (зерна) к среднему диаметру частиц измельченного материала (размола) по формуле:

$$\lambda = \frac{D_{\text{э}}}{d_{\text{ср}}}, \quad (3)$$

где λ – степень измельчения материала;

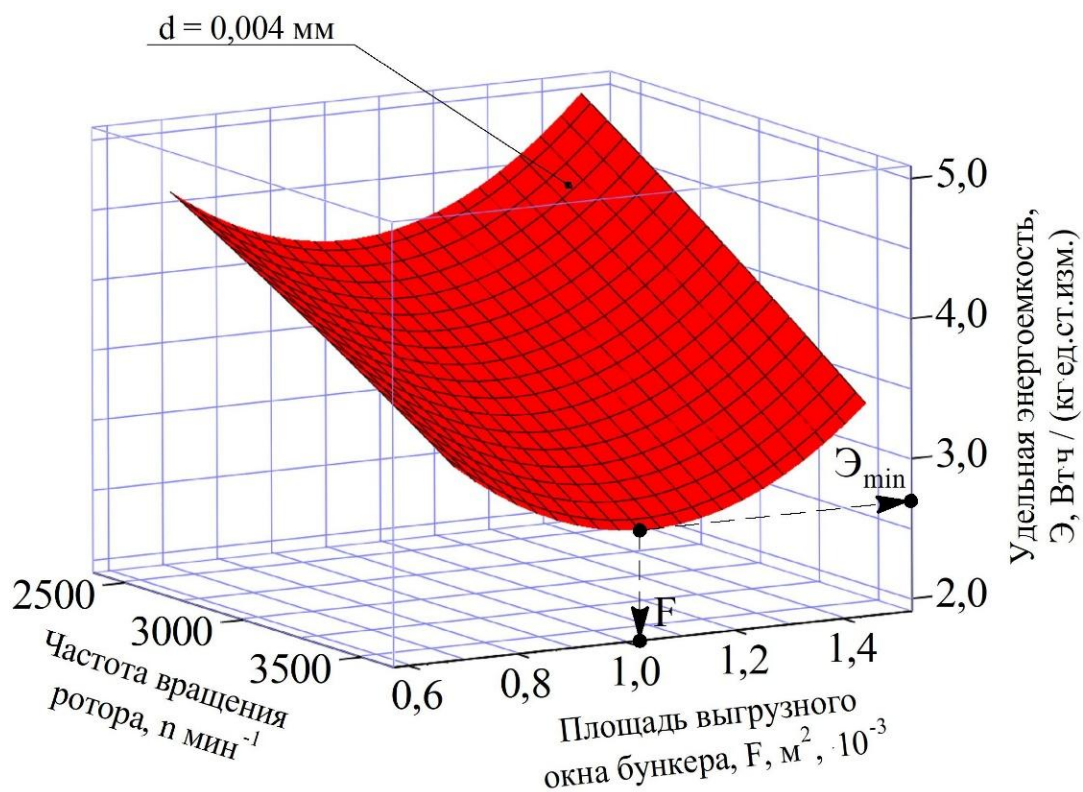
$D_{\text{э}}$ – средний размер зерна, мм;

$d_{\text{ср}}$ – средний размер частиц размола, мм.

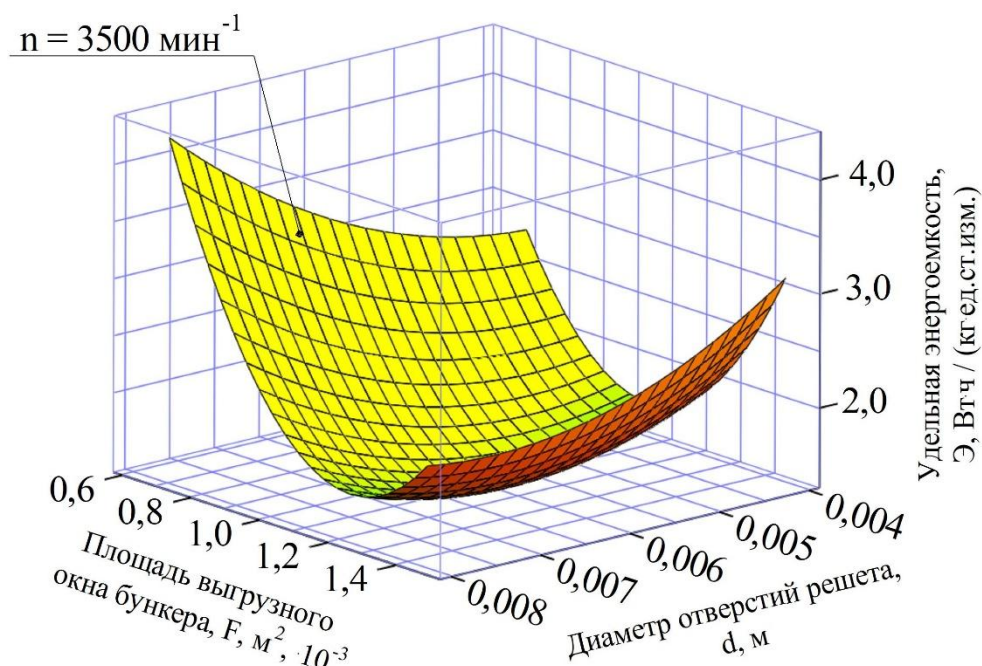
Результаты. В результате статистической обработки экспериментальных данных получена математическая модель в виде уравнения регрессии (4), адекватно описывающая зависимость удельной энергоёмкости Э исследуемого измельчителя фуражного зерна от частоты вращения ротора n , площади выгрузного окна бункера F и диаметра отверстий решетки d .

$$\begin{aligned} \text{Э}(n,d,f) = & 11,25 - 0,00078 \cdot n - 384 \cdot d - 7202 \cdot F + 0,096 \cdot n \cdot d - \\ & 0,27 \cdot n \cdot F - 405450 \cdot d \cdot F - 0,000000087 \cdot n^2 - 44000 \cdot d^2 - 4620805 \cdot F^2 \end{aligned} \quad (4)$$

Для анализа результатов проведенного исследования при помощи уравнения (4) построены поверхности, описывающие зависимость удельной энергоёмкости измельчителя от варьируемых факторов (рис. 2). В качестве примера приведены поверхности для решетки с диаметром отверстий 4 мм (рис. 2а) и для частоты вращения ротора 3500 мин⁻¹ (рис. 2б). При остальных значениях варьируемых факторов поверхности имеют идентичный характер.



а)



б) б)

Рис. 2. Поверхности, отражающие зависимость удельной энергоёмкости от варьируемых факторов:

- а) частоты вращения ротора и площади выгрузного окна бункера, $\mathcal{E} = f(n, F)$;
- б) площади выгрузного окна бункера и диаметра отверстий решета, $\mathcal{E} = f(F, d)$;

Fig. 2. Surfaces reflecting the dependence of specific energy intensity on variable factors:

- a) rotor rotation speed and the area of the hopper discharge opening, $\mathcal{E} = f(n, F)$;
- b) the area of the hopper discharge opening and the sieve hole diameter, $\mathcal{E} = f(F, d)$

Обсуждение. Анализ зависимости $\mathcal{E} = f(n, F)$ показывает, что для всех решет наблюдается общая тенденция уменьшения удельной энергоёмкости с ростом частоты вращения ротора (рис. 2а). Поэтому наименьшего значения в исследуемом диапазоне удельная энергоёмкость достигает при частоте вращения ротора 3500 мин^{-1} .

При уменьшении частоты вращения ротора измельчителя скорость вылета зерен с его лопаток уменьшается. Это приводит к тому, что часть зёрен после попадания на отбойники деки не разрушается или разрушается на частицы, размеры которых не позволяют им пройти сквозь отверстия решета. В результате в рабочей камере образуется воздушно-продуктовый слой с большей степенью насыщения недоизмельчённым продуктом, на перемещение которого в рабочей камере и его доизмельчение необходимы дополнительные затраты энергии.

Поверхности $\mathcal{E} = f(n, F)$ для всех решет являются вогнутыми, и при заданной частоте вращения ротора удельная энергоёмкость имеет минимальное значение $\mathcal{E}_{\min}$ при некотором оптимальном для данного режима значении площади выгрузного окна бункера F (рис. 2а). При увеличении площади выгрузного окна бункера или её уменьшении, относительно оптимального значения F удельная энергоёмкость увеличивается. В первом случае это так же, как и при уменьшении частоты вращения ротора связано с образованием воздушно-продуктового слоя, насыщенного недоизмельченным материалом, а при уменьшении площади выгрузного окна бункера меньше материала поступает в рабочую камеру, в

результате чего снижается производительность измельчителя, что в совокупном итоге приводит к увеличению удельной энергоёмкости.

При смене решет положение минимума удельной энергоёмкости также изменяется. При увеличении диаметра отверстий решета значение площади выгрузного окна бункера F , при котором достигается минимальное значение удельной энергоёмкости, смещается к границе исследуемого интервала в сторону больших значений.

Расчёт удельной энергоёмкости с использованием полученной модели (4) при F , для которой Θ минимальна, показывает, что с изменением частоты выражения ротора с 2500 до 3500 удельная энергоёмкость уменьшается в 1,43 раза при использовании решета с диаметром отверстий 0,004 м. При использовании решета с диаметром отверстий 0,006 м удельная энергоёмкость при изменении частоты вращения ротора в исследуемом диапазоне уменьшается в 1,39 раза, а при использовании решета с диаметром отверстий 0,008 м уменьшается в 1,30 раза.

Изменение площади выгрузного окна бункера также оказывает влияние на величину удельной энергоёмкости. Для решета с диаметром отверстий 0,004 м при изменении площади выгрузного окна бункера в диапазоне 0,000702-0,001458 м² удельная энергоёмкость уменьшается в 1,12-1,27 раза в зависимости от частоты вращения ротора, а для решет с диаметрами отверстий 0,006 и 0,008 м уменьшение удельной энергоёмкости составляет соответственно 1,14-1,34 раза и 1,08-1,45 раза.

Анализ зависимости $\Theta = f(F, d)$ показывает, что при меньших значениях F удельная энергоёмкость уменьшается при уменьшении диаметра отверстий решет, а для больших значений F , относительно оптимального, эта зависимость обратна (рис. 2б). Изменение диаметра отверстий решета оказывает ощутимое влияние на границах исследуемого интервала. При $F = 0,001458$ м² удельная энергоёмкость меняется в 1,143 раза при изменении параметра d в исследуемом диапазоне, а для $F = 0,000702$ м² – изменение величины удельной энергоёмкости составило 1,231 раза. Изменение фактора d оказывает наименьшее влияние на удельную энергоёмкость из всех варьируемых факторов при оптимальном значении F . В исследуемом диапазоне величина удельной энергоёмкости изменяется всего в 1,04-1,064 раза или на 4-6,4 %.

Для поиска оптимального режима работы измельчителя, при котором он имеет наименьшую удельную энергоёмкость Θ_{min} уравнение (4) было исследовано на экстремум. При этом значение частоты вращения ротора было принято равным 3500 мин⁻¹, а диаметр отверстия решета варьировался в пределах изучаемого интервала $d = 0,004-0,008$ м с шагом 0,0005 м. В этом случае уравнение (4), являющееся функцией трёх переменных $\Theta = f(n, d, F)$, сводится к функции одной переменной $\Theta = f(F)$, а положение экстремума такой функции определяется исследованием производной Θ'_F . Результаты расчётов приведены в таблице 2, а их графическая интерпретация приведена на рисунке 3.

Таблица 2. Значение минимальной удельной энергоёмкости при различных значениях диаметра отверстий решета

Table 2. The value of the least specific energy intensity at different values of the sieve hole diameter

Показатель	Значение								
Θ , Вт·ч/(кг·ед.ст.изм.)	2,803	2,750	2,714	2,695	2,694	2,711	2,745	2,797	2,876

$F, \text{м}^2 \cdot 10^{-3}$	1,06	1,08	1,10	1,12	1,15	1,17	1,19	1,21	1,23
$d, \text{м}$	0,004	0,0045	0,005	0,0055	0,006	0,0065	0,0070	0,0075	0,008

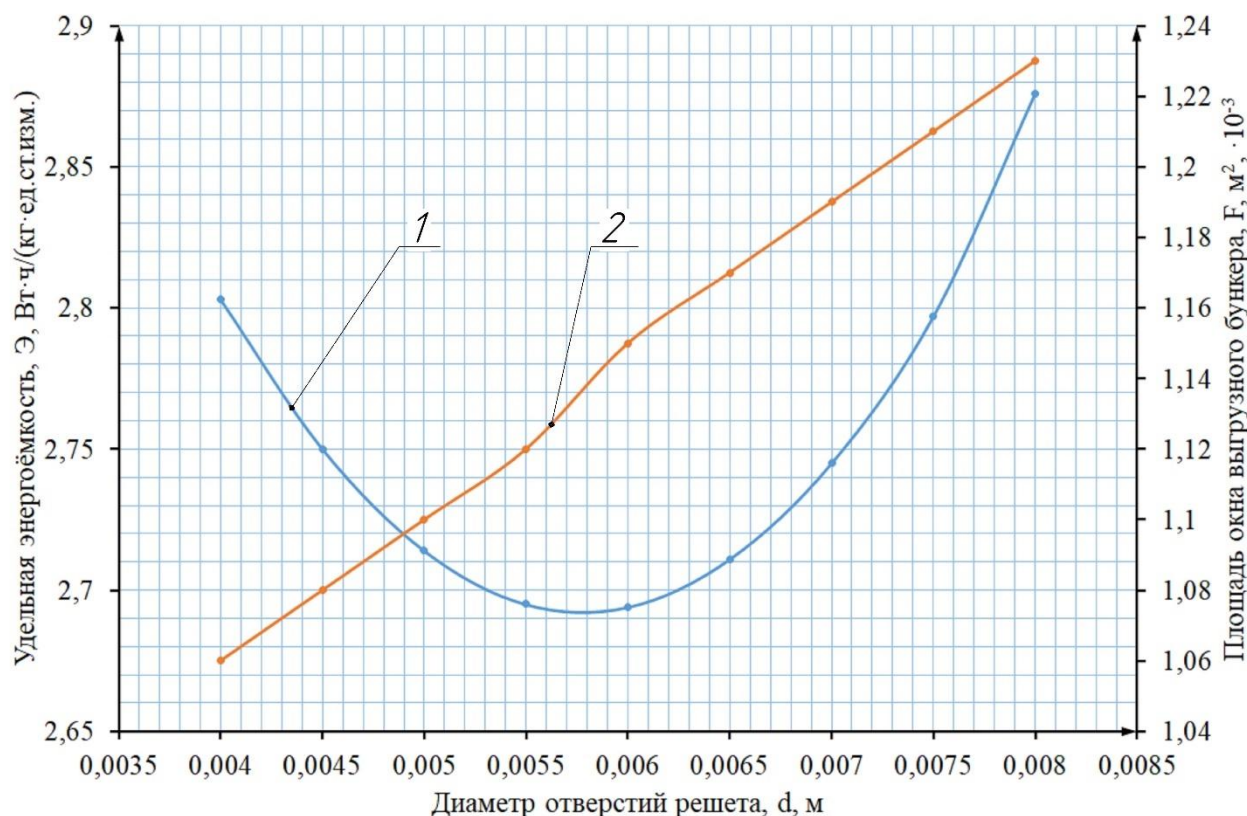


Рис. 3. Графики зависимости минимального значения удельной энергоёмкости и площади выгрузного окна бункера, обеспечивающего достижение этого минимума, от диаметра отверстий решета

1 – график зависимости минимального значения удельной энергоёмкости $\mathcal{E}$ от диаметра отверстий решета ($\mathcal{E} = f(d)$, $n = 3500 \text{ мин}^{-1}$)

2 – график зависимости площади окна выгрузного бункера, при котором удельная энергоёмкость минимальна, от диаметра отверстий решета ($F = f(d)$, $n = 3500 \text{ мин}^{-1}$)

Fig. 3. – Graphs of dependence between the least specific energy intensity and the hopper discharge opening area, which ensures the achievement of the least value, and the sieve hole diameter

1 – graph of dependence between the least specific energy intensity $\mathcal{E}$ and the sieve hole diameter ($\mathcal{E} = f(d)$, $n = 3500 \text{ мин}^{-1}$)

2 – graph of dependence between the hopper discharge opening area, at which the specific energy intensity is lowest, and the sieve hole diameter ($F = f(d)$, $n = 3500 \text{ мин}^{-1}$)

Значения минимальной энергоёмкости при различных диаметрах отверстий решета хорошо аппроксимируются полиномом второй степени, который имеет ярко выраженный минимум, что наглядно видно на рисунке 3. Из таблицы 2 следует, что удельная энергоёмкость достигает наименьшего значения $\mathcal{E}_{\min} = 2,694 \text{ Вт} \cdot \text{ч} / (\text{кг} \cdot \text{ед.ст.изм})$ при диаметре отверстий решета $d = 0,006 \text{ м}$. Данный минимум достигается при площади выгрузного окна бункера равного $F = 1,15 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$. Таким образом, данные параметры

являются наиболее оптимальными для рассматриваемого измельчителя с точки зрения энергоэффективности.

В ходе исследования эффективности работы центробежного измельчителя при измельчении ячменя наименьшее значение удельной энергоёмкости составило $\mathcal{E}_{\min} = 1,989$ Вт·ч / (кг·ед.ст.изм) при аналогичных значениях $n = 3500$ мин⁻¹, $d = 0,006$ м и $F = 1,458 \cdot 10^{-3}$ м² [12]. Таким образом, удельная энергоёмкость измельчения ячменя составляет 74% от удельной энергоёмкости измельчения овса, что коррелирует и с результатами других исследователей [1, 2].

Выводы. Полученная математическая модель (4) объективно описывает процесс измельчения овса в исследуемом центробежном измельчителе. Минимальная удельная энергоёмкость достигается при наибольшей частоте вращения ротора, что обеспечивает наиболее интенсивный процесс измельчения зерна. С увеличением диаметра отверстий решета увеличивается и его пропускная способность, что позволяет увеличить подачу зерна в рабочую камеру центробежного измельчителя. Это объясняет смещение минимума удельной энергоёмкости в сторону больших значений площади выгрузного окна бункера при увеличении диаметра отверстий решет.

При использовании решет с диаметрами отверстий от 0,004 до 0,008 м значения минимума удельной энергоёмкости различаются не более чем на 6,8 % и находятся в пределах 2,694-2,876 Вт·ч / (кг·ед.ст.изм.). Таким образом, варьируя подачу зерна в рабочую камеру, при помощи уравнения (4) можно определить оптимальный режим работы центробежного измельчителя при использовании решета с любым диаметром отверстий из исследуемого диапазона (табл. 2). Это определяет практическую значимость полученной математической модели (4).

Оптимальный режим работы центробежного измельчителя при измельчении овса, учитывающий влияние всех варьируемых факторов, достигается при частоте вращения ротора $n = 3500$ мин⁻¹, диаметре отверстий решета $d = 0,006$ м и площади выгрузного окна бункера $F = 1,15 \cdot 10^{-3}$ м². Удельная энергоёмкость при этом имеет минимальное значение: $\mathcal{E}_{\min} = 2,694$ Вт·ч / (кг·ед.ст.изм).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пунько А.И., Иванов М.В., Воробьев Н.А., Дрозд С.А. Экспериментальное исследование двухроторного измельчителя // Механизация и электрификация сельского хозяйства: Межведомственный тематический сборник. Минск: РУП НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства. 2016. Т. 50. С. 32-36. EDN: YKAFAF
2. Мухтасипов Н.М. Совершенствование процесса измельчения и обоснование параметров кормодробилки молоткового типа: дисс. ... канд. техн. наук. Оренбург. 2001. 126 с. EDN: QDLTOL
3. Созонтов А.В., Лопатин Л.А. Исследование и оптимизация рабочего процесса дробилки зерна ударного действия // Вестник НГИЭИ. 2018. № 6(85). С. 27-36. EDN: XSZDAL
4. Булатов С.Ю., Нечаев В.Н., Низовцев С.Л., Сергеев А.Г. Результаты экспериментальных исследований количественных и энергетических показателей измельчителя зерна // Техника и технологии в животноводстве. 2022. № 1(45). С. 59-63. <https://doi.org/10.51794/27132064-2022-1-59> EDN: TVPDBW

5. Волхонов М.С., Абалихин А.М., Крупин А.В. Обоснование конструкционных параметров нового измельчителя фуражного зерна // Вестник НГИЭИ. 2020. № 11(114). С. 5-16. <https://doi.org/10.24411/2227-9407-2020-10101> EDN: RXIIEN
6. Смелик В.А., Дианов Л.В., Маслов М.М. И чтобы были вкусными корма: хорошие корма – залог успеха животноводства // Золотая Нива. 2004. № 4. С. 6-9. EDN: VCCRRE
7. Kerimov M., Smelik V., Kerimov M., Volkhonov M., Kukhar V. Nanotechnologies in agricultural engineering: practice and prospects // E3S Web of Conferences. 2020. Vol 222, 01022. EDN: FTTPVD
8. Алешкин А.В., Булатов С.Ю., Нечаев В.Н., Низовцев С.Л. Обоснование конструкционных и технологических параметров рабочего органа фрезерного измельчителя зерна // Инженерные технологии и системы. 2023. Т. 33, № 1. С. 37-51. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202301.037-051> EDN: VJAXEG
9. Булатов С.Ю., Нечаев В.Н., Сергеев А.Г., Шамин А.Е., Шлыков А.Е. Влияние диаметра входного патрубка на технологические и энергетические показатели дробилки зерна ДКР-1 // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 1(81). С. 148-155. https://doi.org/10.48012/1817-5457_2025_1_148-155 EDN: JTTBAA
10. Абалихин А.М., Барабанов Д.В., Крупин А.В., Муханов Н.В. Оценка эффективности работы центробежного измельчителя фуражного зерна // АгроЭкоИнженерия. 2024. № 1(118). С. 43-57. <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-1118-43-56> EDN: CVRDZZ
11. Савиных П.А., Исупов А.Ю., Иванов И.И. Результаты исследований центробежно-роторного измельчителя зерна // Вестник НГИЭИ. 2019. № 8(99). С. 18-33. EDN: QTKUPI
12. Колобов М.Ю., Сахаров С.Е. Измельчитель дисперсных материалов // Аграрный вестник Верхневолжья. 2016. № 3(16). С. 105-110. EDN: WMUEND
13. Зиганшин Б.Г., Сабиров Б.М., Нафиков И.Р., Кашапов И.И. Экспериментальное исследование установки для дробления зерновых кормов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19, № 4(76). С. 75-80. <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2024-75-80> EDN: KJSMUK
14. Волхонов, М.С., Абалихин А.М., Крупин А.В. Анализ эффективности работы нового измельчителя фуражного зерна // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2020. № 60. С. 124-131. <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2020-13124> EDN: SJAXUG.

REFERENCES

1. Punko A.I., Ivanov M.V., Vorobiev N.A., Drozd S.A. Experimental study of twin-rotor chopper DDR1. In: Mechanization and Electrification of Agriculture: Interdepartmental Thematic Collection of Papers. Minsk: Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agriculture Mechanization. 2016; 50: 32-36. (In Russ.). EDN: YKAFAF
2. Mukhtasipov N.M. Improving the grinding process and substantiating the parameters of a hammer type feed crusher: diss.... Candidate of Technical Sciences. Orenburg. 2001. 126 p. (In Russ.) EDN: QDLTOL
3. Sozontov A.V., Lopatin L.A. Investigation and optimization of the working process of the crusher grain percussion. Vestnik NGIEI = Bulletin of Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University. 2018; 6(85): 27-36. (In Russ.) EDN: XSZDAL
4. Bulatov S.Yu., Nechaev V.N., Nizovtsev S.L., Sergeev A.G. The results of experimental studies of quantitative and energy indicators of a grain grinder. Tekhnika i Tekhnologii v Zhivotnovodstve

= Machinery and Technologies in Livestock. 2022; 1(45): 59-63. (In Russ.)

<https://doi.org/10.51794/27132064-2022-1-59> EDN: TVPDBW

5. Volkhonov M.S., Abalikhin A.M., Krupin A.V. Justification of design parameters of a new forage grain grinder. Vestnik NGIEI = Bulletin of Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University. 2020; 11(114): 5-16. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2227-9407-2020-10101> EDN: RXIIEH

6. Smelik V.A., Dianov L.V., Maslov M.M. And so that the feed is tasty: good feed is the key to success in animal husbandry. Zolotaya Niva = Golden Grain Field. 2004;4:6-9. (In Russ.) EDN: VCCRRF

7. Kerimov M., Smelik V., Kerimov M., Volkhonov M., Kukhar V. Nanotechnologies in agricultural engineering: practice and prospects. E3S Web of Conferences. 2020; 222, 01022. (In Eng.) EDN: FTTPVD

8. Aleshkin A.V., Bulatov S.Yu., Nechaev V.N., Nizovtsev S.L. Substantiation of the structural and technological parameters of the working body of the milling grain shredder. Inzhenernye tekhnologii i sistemy = Engineering Technologies and Systems 2023; 33(1): 37-51. (In Russ.) <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202301.037-051> EDN: VJAXEG

9. Bulatov S.Yu., Nechaev V.N., Sergeev A.G., Shamin A.E., Shlykov A.E. Impact of the inlet pipe diameter on the technological and energy performance of the DKR-1 grain crusher. Vestnik Izhevskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy. 2025; 1(81): 148-155. (In Russ.) https://doi.org/10.48012/1817-5457_2025_1_148-155 EDN: JTTBAA

10. Abalikhin A.M., Barabanov D.V., Krupin A.V., Mukhanov N.V. Evaluation of performance efficiency of centrifugal feed grain grinder. AgroEcoEngineeriya = AgroEcoEngineering. 2024; 1(118): 43-57. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-1118-43-56> EDN: CVRDZZ

11. Savinyh P.A., Isupov A.Yu., Ivanov I.I. Results of the research of centrifugal-rotary grain crusher. Vestnik NGIEI = Bulletin of Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University. 2019; 8(99): 18-33. (In Russ.) EDN: QTKUPI

12. Kolobov M.Yu., Sakharov S.E. Dispersed materials crusher. Agrarnyi vestnik Verkhnevolzh'ya = Agrarian Journal of Upper Volga Region. 2016; 3(16): 105-110. (In Russ.) EDN: WMUEND

13. Ziganshin B.G., Sabirov B.M., Nafikov I.R., Kashapov I.I. Experimental study of a grain feed crushing plant. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2024; 19, 4(76): 75-80. (In Russ.) <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2024-75-80> EDN: KJSMUK

14. Volkhonov, M.S., Abalikhin A.M., Krupin A.V. New forage grain grinder efficiency analysis. Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2020; 60: 124-131. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2020-13124>. EDN: SJAXUG

Об авторах:	About the authors:
Антон Михайлович Абалихин, канд. техн. наук, доцент, инженер-конструктор, Индивидуальный предприниматель Поняев И.В. ул. Коллективная, д. 3Б, Иваново, 153012,	Anton M. Abalikhin, Cand. Sc. (Engineering), Associate Professor, Design Engineer, Individual Entrepreneur I.V. Ponyaev, 3B Kollektivnaya Str., Ivanovo, 153012,

Россия anton-abalikhin@yandex.ru https://orcid.org/0000-0002-8138-6317	Russia anton-abalikhin@yandex.ru https://orcid.org/0000-0002-8138-6317
Дмитрий Владимирович Барабанов, канд. техн. наук, доцент кафедры технических систем в агробизнесе, Верхневолжский государственный агробиотехнологический университет, ул. Советская, д. 45, Иваново, 153012, Россия barabanov_dmitry@mail.ru https://orcid.org/0000-0003-2199-8781	Dmitry V. Barabanov, Cand. Sc. (Engineering), Associate Professor of the Department of Technical Systems in Agribusiness, Verkhnevolzhsk State University of Agronomy and Biotechnology, 45 Sovetskaya Str., Ivanovo, 153012, Russia barabanov_dmitry@mail.ru https://orcid.org/0000-0003-2199-8781
Александр Владимирович Крупин, канд. техн. наук, доцент кафедры технических систем в агробизнесе, Верхневолжский государственный агробиотехнологический университет, ул. Советская, д. 45, Иваново, 153012, Россия krupinav37@mail.ru https://orcid.org/0000-0002-0006-1810	Aleksander V. Krupin Cand. Sc. (Engineering), Associate Professor of the Department of Technical Systems in Agribusiness, Verkhnevolzhsk State University of Agronomy and Biotechnology, 45 Sovetskaya Str., Ivanovo, 153012, Russia krupinav37@mail.ru https://orcid.org/0000-0002-0006-1810
Николай Вячеславович Муханов, канд. техн. наук, декан инженерно-экономического факультета, Верхневолжский государственный агробиотехнологический университет, ул. Советская, д. 45, Иваново, 153012, Россия nikem81@rambler.ru https://orcid.org/0000-0003-1773-3625	Nikolay V. Mukhanov, Cand. Sc. (Engineering), Dean of the Faculty of Engineering and Economics, Verkhnevolzhsk State University of Agronomy and Biotechnology, 45 Sovetskaya Str., Ivanovo, 153012, Russia nikem81@rambler.ru https://orcid.org/0000-0003-1773-3625
Заявленный вклад авторов Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования.	Authors' contribution All authors of this study were directly involved in its design, execution, and analytical work.
Конфликт интересов Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов	Conflict of interest The authors declare no conflict of interest.
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи к публикации	The authors have read and approved the final version of the manuscript for publication.
Статья поступила в редакцию: 08.10.2025	Received: 08.10.2025
Одобрена после рецензирования: 29.10.2025	Approved after reviewing: 29.10.2025
Принята к публикации: 11.11.2025	Accepted for publication: 11.11.2025

РАЗДЕЛ 2. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АПК

Научная статья

УДК 621.432:621.1.016.7

DOI 10.24412/2713-2641-2025-4125-74-86

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАДИАТОРОВ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ МЕТОДОМ НЕРАВНОВЕСНОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ

Рахимулла Арифоллович Зейнетдинов

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия

zra61@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6811-5929>

Аннотация. Система охлаждения поршневого двигателя играет важную роль в обеспечении надежности автотракторных средств в условиях эксплуатации. Термодинамические процессы, происходящие в системе охлаждения, являются термодинамически необратимыми. Однако при оценке энергетической эффективности системы в настоящее время используется аппарат классической равновесной термодинамики, который не позволяет оценить степень необратимости процессов и решать оптимизационные задачи. Поэтому актуальным вопросом становится оценка эффективности конвективных процессов теплообмена от стенок цилиндров к охлаждающей жидкости, а затем от радиатора – к окружающему воздуху с учетом их неравновесности. Такой подход обеспечивает оптимизацию основных конструктивных параметров радиатора и позволяет обозначить пути их улучшения. Целью исследования является разработка методики оценки эффективности радиатора системы охлаждения поршневого двигателя на принципе минимума производства энтропии. Автором предложена новая методика оценки эффективности теплообменных процессов в системе охлаждения на принципах неравновесной термодинамики. Показано, что наиболее перспективным решением при этом представляется энтропийный метод, при котором степень совершенства теплообменных процессов в системе характеризуется производством энтропии. При этом критерием минимизации потери теплоты во внутренних термодинамических процессах в радиаторе выступает минимизация скорости производства энтропии. Путем вычислительного эксперимента показано, что использование принципа минимизация производства энтропии позволяет определить оптимальный конструктивный размер трубки радиатора системы охлаждения поршневого двигателя Д-243 при заданных тепловой нагрузке и продолжительности тепловых и гидравлических процессов. Теоретически показано, что предложенное выражение эксергетического КПД позволяет исследовать эксергетические потери в радиаторе из условия минимума производства энтропии в тепловых и гидравлических процессах с учетом их неравновесности и, тем самым, снизить диссипативные потери теплоты при известных массовых и энергетических потоках теплоносителя в радиаторе. Это позволяет повысить коэффициент энергетической эффективности радиатора.

Ключевые слова: поршневой двигатель, радиатор, производство энтропии, система охлаждения, эксергетический баланс, термодинамический процесс

Для цитирования: Зейнетдинов Р.А. Оценка эффективности радиаторов поршневых двигателей методом неравновесной термодинамики // АгроЭкоИнженерия. 2025. № 4(125). С. 74-86 <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-4125-74-86>

Research article

Universal Decimal Code 621.432:621.1.016.7

ASSESSMENT OF RADIATOR EFFICIENCY IN PISTON ENGINES BY THE METHOD OF NON-EQUILIBRIUM THERMODYNAMICS

Rahimulla A. Zeynetdinov

Saint-Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg Russia,

zra61@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6811-5929>

Abstract. The cooling system of a piston engine is essential for the reliability of automotive equipment in operating conditions. The thermodynamic processes within the cooling system are irreversible, but the energy efficiency of this system is assessed using the tools of classical equilibrium thermodynamics. This does not allow for an accurate estimation of the degree of process irreversibility or the solution of optimization problems. Therefore, an urgent issue of today is to assess the efficiency of convective heat transfer processes from the cylinder walls to the coolant, and then from the radiator to the ambient air with due account for their imbalance. Such an approach will optimize the main design parameters of the radiator and identify ways to improve them. The study aimed to devise a method for assessing the efficiency of a radiator in a piston engine's cooling system, based on the concept of minimizing entropy production. The author proposes a new method for evaluating the efficiency of heat exchange processes in a cooling system based on the principles of non-equilibrium thermodynamics. It is shown that the most promising solution in this case is the entropy method. This method characterizes the level of efficiency of heat transfer processes in a system by measuring the amount of entropy produced. In this context, the goal is to minimize heat loss during internal thermodynamic processes within the radiator. This is achieved by minimizing the rate of entropy production. The computational experiment showed that the use of the principle of minimizing entropy production made it possible to determine the optimal design size of the radiator tube of the piston engine cooling system for a given thermal load and duration of thermal and hydraulic processes. It was also shown in theory that the proposed expression of exergetic efficiency made it possible to study the exergetic losses in a radiator from the condition of minimum entropy production in thermal and hydraulic processes, taking into account their disequilibrium, and thereby reduce dissipative heat losses with known mass and energy fluxes of coolant in the radiator. This allows to increase the energy efficiency of the radiator.

Keywords: piston engine, radiator, entropy production, cooling system, exergetic balance, thermodynamic processes

For citation: Zeynetdinov R. A. Assessment of radiator efficiency in piston engines by the method of non-equilibrium thermodynamics. AgroEcoEngineering. 2025; 4(125): 74-86 (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-4125-74-86>

Введение. Система охлаждения (СО) представляет собой совокупность устройств, обеспечивающих принудительный отвод теплоты от нагретых деталей поршневых двигателей с целью поддержания в них допустимого уровня температуры. Следует отметить, что с СО происходят неравновесные тепломассообменные и гидравлические процессы, поэтому точное определение количества теплоты, которое необходимо отвести от двигателя в окружающую среду с учетом неравновесности вышеуказанных термодинамических процессов является достаточно сложной задачей. Это обусловлено тем, что в настоящее время при оценке энергетической эффективности системы охлаждения поршневых двигателей используется в основном аппарат классической равновесной термодинамики, который не позволяет оценить степень необратимости термодинамических процессов, происходящих в водяной рубашке и радиаторе СО, и решать оптимизационные задачи. В связи с этим еще не установилось единого мнения по выбору методики оценки термодинамической эффективности вышеупомянутых процессов в СО поршневых двигателей² [1, 2].

Из сказанного следует, что оценка эффективности термодинамических процессов в радиаторах СО поршневых двигателей путем использования принципов неравновесной термодинамики является актуальной задачей, решение которой позволяет оценить степень диссипации теплоты в неравновесных тепловых и гидравлических процессах, и оптимизировать основные конструктивные параметры теплообменных аппаратов.

Цель исследования – разработка термодинамической методики оценки эффективности радиаторов системы охлаждения поршневого двигателя с применением принципов неравновесной термодинамики.

Материалы, методы и объекты исследования. На данный момент эффективность теплообменников (ТО) можно оценивать с трех позиций: экономической, энергетической и термодинамической³ [4, 5].

Экономический метод анализа, применяемый при сравнении разных ТО, определяется основными затратами на изготовление оригинальных деталей, сборку и эксплуатационные расходы при обеспечении всех технических требований [5].

Достаточно простой методикой при оценке теплообменников по эффективности процессов теплообмена является энергетический. При этом в качестве основных характеристик поверхности ТО выделяют две величины: количество теплоты, передаваемой через поверхность Q , и мощность, затрачиваемую на прокачку теплоносителя вдоль поверхности теплообмена, обеспечивая его циркуляцию $\sum N_{\text{наг}}$:

$$E_{\text{эн}} = \frac{Q}{\sum N_{\text{наг}}}$$

Однако данная методика в таком виде оценки эффективности не получила широкого применения из-за неоднозначности коэффициента $E_{\text{эн}}$ в зависимости от принятых скоростей теплоносителей, соотношений коэффициентов теплоотдачи, температур и других факторов.

²Якубович А.И., Кухаренок Г.М., Тарасенко В.Е. Системы охлаждения тракторных и автомобильных двигателей. Конструкция, теория, проектирования. Минск: Новое знание; М.: ИНФА-М. 2014. – 473 с. URL: <https://www.gstu.by/sites/default/files/atoms/files/46/7b/yakubovich.pdf>

³Калафати Д.Д., Попалов В.В. Оптимизация теплообменников по эффективности теплообмена. М.: Энергоатомиздат. 1986. –152 с.

Разновидностью энергетического подхода при оценке эффективности теплообменных процессов в ТО является термодинамический анализ на базе эксергетического метода. В нашем случае использование эксергетического метода даёт возможность получить обобщенную термодинамическую характеристику радиатора, оценить качество преобразования энергии при теплообмене и определить, как абсолютные, так и относительные величины потерь теплоты от необратимости. Величину эксергетического КПД можно определить из выражения [5-10]:

$$\eta_{ex} = \sum E_{пол.э} / \sum E_{э.з}, \quad (1)$$

В числителе формулы (1) стоит сумма потоков эксергии, которые определяют полезный эффект аппарата, а в знаменателе – эксергетические затраты, направленные на достижение данного эффекта.

Основным недостатком традиционного эксергетического подхода является то, что термодинамические процессы, происходящие внутри системы, не уточняются, а рассматривается как «черный ящик». В итоге это приводит к тому, что эксергетические потери становятся общими и дифференциация процессов диссипации не производится.

Процессы, протекающие в СО поршневых двигателей, являются термодинамически необратимыми, что ранее не учитывалось при термодинамическом анализе ТО. Поэтому достаточно актуально при оценке эффективности теплообменных и гидравлических процессов в системе охлаждения использовать принципы неравновесной термодинамики, которые позволяют дифференцировать тепловые потери по областям локализации и видам теплофизических процессов. В связи с этим при исследовании неравновесных термодинамических процессов в радиаторе наиболее перспективным направлением является эксергетический метод, который позволяет разработать более совершенную термодинамическую модель теплообменного аппарата и создать теоретические основы по определению диссипативных потерь в происходящих в системе тепло- и гидромеханических процессов. Эксергетический метод при анализе термодинамических процессов опирается на важную термодинамическую функцию – энтропию, которая определяет степень неравновесности происходящих процессов.

Теплообмен в радиаторе представляет собой процесс переноса теплоты от горячего теплоносителя к охлаждающему воздуху через стенки трубок и пластин сердцевины. При этом поток охлаждающего воздуха, перемещаясь в поперечном сечении трубок сердцевины радиатора, рассеивает непосредственно в атмосферный воздух тепловой поток из системы охлаждения.

В СО циркуляция горячего теплоносителя происходит по замкнутому контуру с одновременным теплообменом в сердцевине радиатора с окружающей средой, поэтому для стационарного режима циркуляции потока теплоносителя по контуру достаточно уравнения энергетического и энтропийного балансов, т.е.:

$$\dot{Q}_{wp} + \dot{Q}_{bx} - \dot{Q}_{ep} + N_n = 0, \quad (2)$$

где $\dot{Q}_{wp}$ – тепловые потоки горячего теплоносителя на выходе из двигателя; $\dot{Q}_{ep}$ – тепловые потоки, отводимые от стенок трубок сердцевины радиатора; $\dot{Q}_{bx}$ – тепловой поток теплоносителя, поступающего обратно в двигатель после радиатора; N_n – мощность водяного насоса.

Тепловые потоки на выходе из двигателя равны разности между количеством выделенной в СО через стенку цилиндров теплоты $Q_{wц}$ и тепловых потерь, связанных с внутренними неравновесными процессами в системе $Q_{iwбл}$, и тепловых потерь через стенки блока цилиндров двигателя Q_m , т.е.:

$$dQ_{wp} = dQ_{wц} - dQ_m - \sum_k d_i Q_{wбл}. \quad (3)$$

Пренебрегая тепловыми потерями в блоке цилиндров двигателя, количество теплоты, передаваемой от стенки цилиндров к охлаждающей жидкости, можно записать в виде:

$$dQ_{wp} = \alpha_w (T_{cm} - T_w) dF,$$

где α_w — коэффициент теплоотдачи от стенки цилиндра к теплоносителю; T_{cm} — температура внешней стенки цилиндра; T_w — температура теплоносителя.

Вычисление коэффициента теплоотдачи α_w можно производить по формуле Зоннекена:

$$\alpha_w = 300 + 1800\sqrt{w},$$

где w — скорость движения теплоносителя в рубашке системы охлаждения.

Среднюю температуру стенки цилиндров можно определить из выражения⁴:

$$T_{cm} = T_w + 7,5q_t;$$

где q_t — величина, характеризующая теплонапряженность двигателя; T_w — температура охлаждающей жидкости, принимаем $T_{охл} = 80 \dots 90^\circ\text{C}$.

Значение параметра q_t можно вычислить из соотношения³:

$$q_t = 8,4 \cdot (p_k/p_0)^{0,35} \cdot (1/\alpha)^{0,42} \cdot (T_k/T_0)^{0,35} \cdot (c_m/10) \cdot (D/0,1)^{0,38},$$

где p_0 и T_0 — соответственно давление и температура окружающего воздуха; p_k и T_k — соответственно давление и температура наддувочного воздуха; α — коэффициент избытка воздуха; c_m, D — средняя скорость и диаметр поршня соответственно.

Механическая работа по продавливанию несжимаемой жидкости из верхнего бочка в нижний бочок равна:

$$W_d = \Delta p \pi R_{э\text{кв}}^2 l = \Delta p V. \quad (4)$$

где V — полный объем трубок сердцевины радиатора.

Тогда мощность механической работы по продавливанию теплоносителя через трубку сердцевины равна:

$$N = \frac{\Delta p V}{t} = \frac{k}{\rho} (\Delta p)^2. \quad (5)$$

где ρ — плотность теплоносителя; Δp — перепад давления в радиаторе; k — коэффициент пропорциональности; t — время, за которое совершается работа проталкивания.

Коэффициент пропорциональности k можно определить из выражения:

$$k = \frac{\pi R_{э\text{кв}}^4}{8\mu l v},$$

⁴ Чернышов Г.Д. Рабочий процесс и теплонапряженность автомобильных дизелей. М.: Машиностроение, 1986. 216 с.

где l – длина трубки; $R_{\text{экв}}$ – эквивалентный радиус трубки радиатора; v – удельный объем теплоносителя; μ – динамическая вязкость охлаждающей жидкости.

Изменение энтропии системы потоком теплоносителя между входным и выходным сечениями системы охлаждения происходит вследствие переноса энтропии с теплотой, отводимой от поверхности стенок цилиндра, а также вследствие производства энтропий в рубашке системы охлаждения и радиаторе двигателя с учетом неравновесности термодинамических процессов.

В нашем случае уравнение баланса энтропии системы включает отток ее потоком теплоносителя с температурой T_w от стенок цилиндров, производства энтропии в радиаторе двигателя с учетом неравновесности происходящих термодинамических процессов и обратный приток энтропии в двигатель после радиатора. Если рассмотреть систему охлаждения, как закрытую систему, тогда уравнение скорости прироста полной энтропии системы можно выразить следующим образом [11]:

$$\frac{dS}{d\tau} = \sum_j \left(\int_{T_{1j}}^{T_{2j}} \frac{d\dot{Q}_w}{T_w} \right) + \dot{m}(s_{\text{вх}} - s_{\text{вых}}) + \sum_k \frac{d_i S_k}{d\tau} = 0, \quad (6)$$

где $\dot{m}$ – массовый расход охлаждающей жидкости; $s_{\text{вх}}, s_{\text{вых}}$ – удельные энтропии охлаждающей жидкости во входном и выходном сечениях двигателя; $d_i S_k/d\tau$ – локальная скорость производства энтропии за счет внутреннего k -ого необратимого термодинамического процесса в системе охлаждения.

Учитывая, что все тепловые потоки от стенок цилиндров переносятся при постоянных температурах T_j , то интеграл можно заменить отношением $\dot{Q}_w/T_w$. В этом случае для стационарного процесса балансовое уравнение полного изменения энтропии системы можно записать в виде:

$$\sum_j \frac{\dot{Q}_w}{T_w} + \dot{m}(s_{\text{вх}} - s_{\text{вых}}) + \sum_k \sigma_i dV = 0, \quad (7)$$

Уравнение энтропийного баланса (7) можно привести к виду

$$\frac{d\dot{Q}_{wp}}{T_w} + \frac{d\dot{Q}_{\text{вх}}}{T_{p2}} - \frac{d_e \dot{Q}_p}{T_w} + \sum_k \sigma_{ik} dV = 0, \quad (8)$$

где T_{cm} – температура стенок цилиндров; T_{p2} – температура охлаждающей жидкости на выходе из радиатора; $\dot{Q}_{pe}$ – обратимая часть удельного отводимого теплового потока; T_w – средняя температура теплоносителя в сердцевине радиатора.

Исключив из уравнения (2) величину $\dot{Q}_{\text{вх}}$, и подставив полученное выражение в уравнение (8), после преобразования можно получить:

$$\dot{Q}_{ep} = \dot{Q}_w - \frac{T_w}{T_w - T_p} (T_p \Sigma \sigma_i + N_n) = \dot{Q}_w - \frac{1}{\eta_{\text{эф}}} (T_p \Sigma \sigma_i + N_n), \quad (9)$$

Результаты

Полученное выражение (9) характеризует количество теплоты, отводимое от радиатора теплоносителем в равновесном теплообменном процессе. Последнее слагаемое характеризует диссипативные эффекты в теплообменнике, что свидетельствует о том, что

минимизация производства энтропий $\Sigma\sigma_i$ в теплогидравлических процессах способствует снижению диссипативных потерь теплоты в радиаторе. Это обеспечивает рост количества теплоты, отводимого от радиатора теплоносителями равновесным путем.

Уравнение (9) можно представить в виде:

$$d_e Q_p = dQ_w - \frac{1}{\eta_{эф}} (T_p \Sigma\sigma_i + N_n) d\tau = dQ_w - \Sigma d_i Q. \quad (10)$$

где dQ_w – количество теплоты, участвующей в термодинамическом процессе; $d_i Q$ – теплота диссипации.

Тогда максимальное количество теплоты, которое необходимо отводить от радиатора двигателя, составляет

$$dQ_w = d_e Q_p + \frac{1}{\eta_{эф}} (T_p \Sigma\sigma_i + N_n) d\tau = d_e Q_p + \Sigma d_i Q. \quad (11)$$

Из уравнения (11) следует, что если учесть неравновесность происходящих в радиаторе теплообменных процессов, то реально отводимое количество теплоты больше, чем количество теплоты, полученное расчетным путем на основе классической равновесной термодинамики.

Наличие диссипативных процессов в радиаторе связаны с наличием массового и теплового потоков. Так, при движении теплоносителя по трубке под давлением из-за наличия внутреннего трения возникает теплота, которая отводится через трубки радиатора. Данная теплота диссипации увеличивает энтропию теплоносителя, скорость возникновения которой равна [5]:

$$\sigma_m = \frac{dS_n}{dt} = \frac{1}{T} \cdot \frac{dW_d}{dt} = \frac{k}{\rho T} (\Delta p)^2. \quad (12)$$

где W_d – работа по продавливанию жидкости через трубки радиатора.

Величину потери давления на преодоление гидравлического сопротивления в радиаторе можно определить по формуле Дарси:

$$\Delta p = \left(\lambda_{mp} \frac{h_{mp}}{d_{эКВ}} n + \xi_m \right) \frac{\rho u_{mn}^2}{2} \cdot n, \quad (13)$$

где $h_{mp}, d_{эКВ}$ – высота и эквивалентный диаметр трубки радиатора; λ_{mp} – коэффициент гидравлического трения трубки; ξ_m – коэффициент местного сопротивления, зависящий от конструктивных особенностей радиаторов; n – количество трубок радиатора; u_{mn} – средняя скорость теплоносителя в трубке радиатора.

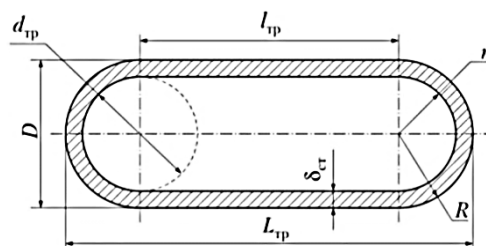


Рис. 1. Разрез охлаждающей трубки радиатора

Fig. 1. Section of the radiator cooling tube

Эквивалентный диаметр $d_{\text{экв}}$ трубок радиатора (рис. 1) можно найти по выражению:

$$d_{\text{экв.}} = \frac{4S_{\text{труб.}}}{P_{\text{труб.}}} = \frac{2r(2l_{mp} + \pi r)}{l_{mp} + \pi r}, \quad (14)$$

где $S_{\text{труб.}}$ – площадь сечения трубки; $P_{\text{труб.}}$ – внутренний периметр трубки; l_{mp}, r – размеры сечения трубки (рис.1).

Скорость производство энтропии в процессе теплопроводности теплоносителя в трубке радиатора можно определить из выражения:

$$\sigma_q = \vec{J}_q \vec{X}_q = \frac{\lambda_m}{T_m^2} (\nabla T_m)^2 = \frac{\lambda_m}{T_m^2} \left(\frac{\partial T_m}{\partial x} \right)^2 \geq 0, \quad (15)$$

где $\vec{J}_q$ – тепловой поток, переносимый за счет теплопроводности теплоносителя; λ_m, T_m – теплопроводность и температура теплоносителя в трубке.

Скорость производства суммарной энтропии за счет внутренних необратимых процессов в систем σ_i можно написать в виде:

$$\Sigma \sigma_i = \int_V \frac{d_i S}{dt} = \frac{1}{T} \left(\frac{dL_d}{dt} + \sum_j \frac{d_i Q}{dt} \right) = \sigma_m + \sigma_q. \quad (16)$$

В вышеназванных неравновесных термодинамических процессах, происходящих в радиаторе, прирост энтропии горячего потока теплоносителя отрицателен, а холодного – положителен, причем их сумма больше нуля. Минимум производства энтропии системы является условием обеспечения минимальной диссипации теплоты, его можно выразить в виде [11]:

$$\sigma_{\Sigma} = \sum_k \frac{d_i S}{dt} = \sum_k \sigma_{ik} \rightarrow \min. \quad (17)$$

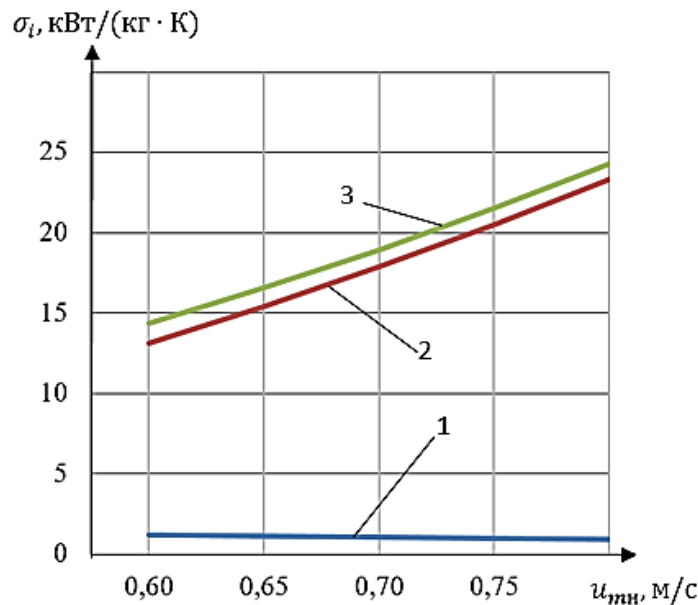


Рис. 2. Зависимость производства энтропии в трубке радиатора от скорости потока охлаждающей жидкости: 1 – скорость производства энтропии, обусловленная теплообменными процессами в трубке радиатора; 2 – скорость производства энтропии,

обусловленная гидравлическими сопротивлениями в трубке радиатора; 3 – скорость производства суммарных энтропий

Fig. 2. Dependence of entropy production in the radiator tube on the coolant flow rate: 1 – entropy production rate due to heat exchange processes in the radiator tube; 2 – entropy production rate due to hydraulic resistances in the radiator tube; 3 – total entropy production rate

Результаты расчета скоростей производств энтропий в радиаторе двигателя Д-243 на номинальном режиме работы двигателя приведены на рисунках 2 и 3, из которых видно, что повышение скорости потока охлаждающей жидкости в трубках радиатора не дает нужного результата по снижению скорости производства энтропии, так как с увеличением скорости потока растет и скорость производства энтропии (рис. 2). Однако анализ результатов при различных радиусах трубок радиатора показал, что увеличение внутреннего радиуса трубок r с 1,5 мм до 3 мм обеспечивает уменьшение скорости производства энтропии на 66,7% (рис. 3).

Вычислительный эксперимент, проведенный на примере радиатора системы охлаждения двигателя Д- 243, показывает, что предложенный термодинамический подход с использованием принципов неравновесной термодинамики позволяет конкретизировать рациональный радиус трубки.

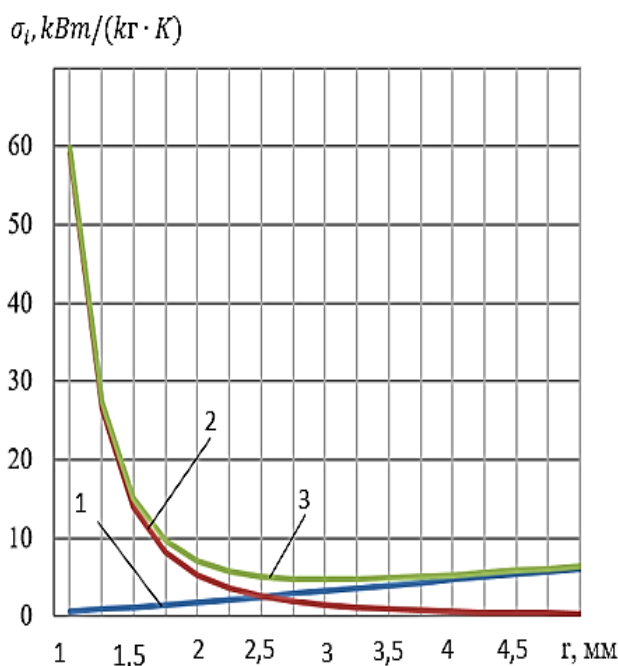


Рис. 3. Зависимость производства энтропии в трубке радиатора от ее радиуса: 1 – скорость производства энтропии, обусловленная теплообменными процессами в трубке радиатора; 2 – скорость производства энтропии, обусловленная гидравлическими сопротивлениями в трубке радиатора; 3 – скорость производства суммарных энтропий

Fig. 3. Dependence of entropy production in the radiator tube on its radius: 1 – entropy production rate due to heat exchange processes in the radiator tube; 2 – entropy production rate due to hydraulic resistances in the radiator tube; 3 – total entropy production rate

Обсуждение. Задача оптимальной организации процесса теплообмена в радиаторе заключается в том, чтобы при заданной поверхности контакта между горячими и холодными потоками теплоносителей и фиксированной тепловой нагрузке суммарное производство

энтропии было минимальным. Найденное минимально возможное значение производства энтропии σ_{Σ}^* может служить показателем совершенства теплообменных процессов в радиаторе. Зная общее производство энтропии в разных процессах можно определить суммарные эксергетические потери в радиаторе ΣD_k .

В нашем случае суммарные потери эксергии в теплообменнике при минимальном значении суммарного производства энтропии можно определить по формуле [10,11]:

$$\Sigma D_k = T_0 \sigma_{\Sigma}^*, \quad (18)$$

где T_0 – температура окружающей среды.

На эффективность работы радиатора влияют также эксергетические потери, вызванные его гидравлическим сопротивлением и наличия теплового потока между радиатором и окружающей средой. Для анализа эффективности термодинамических процессов в радиаторе можно составить уравнение эксергетического баланса, который имеет вид [10]:

$$L_H + Q'_w \tau_e = Q_{e,p} \cdot \tau_e^p + \Sigma D_k, \quad (19)$$

где L_H – работа на прокачку горячего теплоносителя через радиатор; $Q_{e,p}$ – количество теплоты, отводимое из радиатора в равновесном теплообменном процессе; ΣD_k – суммарные потери эксергии в охлаждающей системе с учетом необратимости процесса теплопередачи в радиаторе; τ_e – температурная эксергетическая функция, $\tau_e = 1 - T_0/T_w$; T_w – температура потока теплоносителя в водяной рубашке; τ_e^p – эксергетическая функция, характеризующая температуру отведенной теплоты в радиаторе.

Из уравнения эксергетического баланса следует, что эксергетический КПД процесса охлаждения в радиаторе можно выразить следующим образом [11]:

$$\eta_e^{co} = \frac{Q_p \cdot \tau_e^p}{L_H + Q'_w \tau_e} = 1 - \frac{\Sigma D_k}{L_{охл} + Q'_w \tau_e}. \quad (20)$$

Эксергетический КПД реальных процессов в системе охлаждения всегда меньше единицы. Однако реализация оптимизационных решений путем минимизации диссипативных потерь теплоты в неравновесных теплогидравлических процессах системы позволяет увеличить значение данного КПД. Величина эксергетического КПД является дополнением к общему феноменологическому подходу исследования радиатора и дает возможность вводить оценочные критерии эффективности и выбрать оптимальные варианты компоновки радиатора в теплообменных процессах.

Выводы:

- оценку эффективности радиаторов системы охлаждения поршневых двигателей можно провести несколькими методами, но самым рациональным является термодинамический метод анализа, опирающийся на второй закон термодинамики и учитывающий степень неравновесности происходящих в них тепловых и гидравлических процессов;
- критерием минимизации потери теплоты в необратимых термодинамических процессах в радиаторе выступает принцип минимального производства энтропии, что позволяет уточнить количество теплоты, отводимого от радиатора обратимым путем и теплоту диссипации;

- минимизация роста энтропии σ_i при заданных тепловой нагрузке и продолжительности термогидравлических процессов в радиаторе позволила определить оптимальный размер трубки радиатора. Минимизация энтропии обеспечивает нижнюю границу необратимости термодинамических процессов;
- предложенное выражение эксергетического КПД позволяет исследовать эксергетические потери в радиаторе из условия минимума производства энтропии в термогидравлических процессах с учетом их неравновесности и, тем самым, оценить скорость диссипации тепловой энергии.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Базавлук С.А., Любимов И.А., Курмаев Р.Х., Солдатов И.В. Способ повышения эффективности теплоотвода радиатора системы охлаждения электрифицированного мототранспортного средства категории L // Труды НАМИ. 2023. № 1. С. 30-36. <https://doi.org/10.51187/0135-3152-2023-1-30-36>
2. Овчаренко С.М., Ринг И.С. Овчаренко С.С. Исследование температурных режимов работы систем охлаждения тепловозов в процессе эксплуатации // Известия Транссиба. 2022. № 2 (50). С. 116-123. EDN: GXBYPI
3. Парлюк Е.П., Куриленко А.В. Методика расчета масляных радиаторов автотракторной техники // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16. №. 2. С. 37-42. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-2-37-42> EDN: ETLCKG
4. Столяренко В.И., Жерносек С.В., Ольшанский В.И. и др. Исследование эффективности пластинчатого теплообменника // Материалы и технологии. 2020. №1 (5). С. 33-38. <https://doi.org/10.24412/2617-149X-2020-1-33-38>
5. Зейнетдинов Р.А. Связь показателя эффективности в радиаторах поршневых двигателей с производством энтропии // Известия Международной академии аграрного образования. 2023. № 67. С. 51-55. EDN: HGZYSM
6. Трубаев П.А. Термодинамический и эксергетический анализ в теплотехнологии: монография. М.: Инфа-Инженерия. 2019. 228 с.
7. Юшкова Е.Л., Лебедев В.А., Яковлев П.В., Акманова М.С. Структурная оптимизация эксергетическим пинч-анализом // Энергобезопасность и энергосбережение. 2020. № 5. С.37-41. EDN: YULBZY
8. Луканин П.В. Оценка энергетической эффективности производства сульфатной целлюлозы методом приращения эксергий // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2020. № 22(2). С. 3-11. EDN: WOZNTV
9. Загорный С.В., Наумчик И.В., Дзитоев М.С., Михайленко А.В. Эксергетический анализ элементов систем термостатирования // Труды МАИ. 2021. № 121, 11. <https://doi.org/10.34759/trd-2021-121-11> EDN: HNCRDP
10. Зейнетдинов Р.А. Особенности эксергетических потерь в охлаждающей системе поршневых двигателей // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2015. № 41. С. 249-256. EDN: VVCWNZ
11. Зейнетдинов Р.А. Оптимальная организация процесса необратимого тепломассообмена в системах охлаждения ДВС // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2010. № 21. С. 260-268. EDN: PEMJZT

REFERENCES

1. Bazavluk S.A., Lyubimov I.A., Kurmaev R.Kh., Soldatov I.V. Method for increasing heat removal efficiency of a cooling system radiator of an electric motor vehicle of category L. Trudy NAMI = Bulletin of the Scientific and Automotive Institute (NAMI). 2023;1:30-36. (In Russ.) <https://doi.org/10.51187/0135-3152-2023-1-30-36>
2. Ovcharenko S.M., Ring I.S. Ovcharenko S.S. Investigation of temperature modes of operation of diesel locomotive cooling systems during operation. Izvestiya Transsiba = Journal of Transsib Railway Studies. 2022; 2 (50):116-123. (In Russ.) EDN: GXBYPI
3. Parlyuk E.P., Kurilenko A.V. Methodology for calculating automotive oil radiator. Sel'skokhozyaistvennye mashiny i tekhnologii = Agricultural Machinery and Technologies. 2022;16(2):37-42. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-2-37-42> EDN: ETLCKG
4. Stolyarenko V.I., Zhernosek S.V., Olshansky V.I., Marushchak A. S., Movsesyan V. Yu. Development of research methods for performance properties of composite layered materials. Materialy i tekhnologii = Materials and Technologies. 2020;1 (5):33-38. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2617-149X-2020-1-33-38>
5. Zeynetdinov R.A. The relationship of the efficiency indicator in piston engine radiators with entropy production. Izvestiya Mezhdunarodnoi akademii agrarnogo obrazovaniya = Izvestiya International Academy of Agrarian Education. 2023; 67: 51-55. (In Russ.) EDN: HGZYSM
6. Trubaev P.A. Thermodynamic and exergetic analysis in heat technology: a monograph. Moscow: Infa-Engineering Publ. 2019. 228 p. (In Russ.)
7. Yushkova E.L., Lebedev V.A., Yakovlev P.V., Akmanova M.S. Exergy pinch analysis structural optimization. Energobezopasnost' i energosberezhenie = Energy Safety and Energy Economy. 2020;5:37-41. (In Russ.) EDN: YULBZY
8. Lukanin P.V. Estimation of energy efficiency of craft pulp production with the exergy increment method. Power Engineering: Research, Equipment, Technology. 2020;22(2):3-11. (In Russ.) EDN: WOZNTV
9. Zagornyy S.V., Naumchik I.V., Dzitoev M.S., Mihaylenko A.V. Exergetic analysis of elements of thermostating systems. Trudy MAI = Proceedings of Moscow Aviation Institute. 2021;121, 11. (In Russ.) <https://doi.org/10.34759/trd-2021-121-11> EDN: HNCRDP
10. Zeynetdinov R.A. Features of exergetic losses in the cooling system of the piston engines. Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2015;41:249-256. (In Russ.) EDN: VVCWNZ
11. Zeinetdinov R.A. The optimum organization of processes irreversible heat exchanges in systems cooling of internal combustion engines. Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2010;21:260-268. (In Russ.) EDN: PEMJZT

Об авторе:	About the author:
Рахимулла Ариффуллович Зейнетдинов , канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Автомобили, тракторы и технический сервис» Санкт Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург- Пушкин, ул. Средняя 6, zra61@mail.ru	Rahimulla A. Zeynetdinov , Cand. Sci. (Engineering), Assistant Professor, Assistant Professor of the Chair “Automobiles, Tractors and Technical Service”, Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg- Pushkin, Srednya Str., 6, zra61@mail.ru

Заявленный вклад авторов Автор выполнил все функции проекта	Authors contribution The author completed all functions in the projects
Конфликт интересов Автор заявляет об отсутствии конфликтов интересов	Conflict of interest The author declares no conflicts of interests regarding the publication of this paper
Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи к публикации	The author has read and agreed to the published version of the manuscript
Статья поступила в редакцию: 26.05.2025	Received: 26.05.2025
Одобрена после рецензирования: 02.09.2025	Approved after reviewing: 02.09.2025
Принята к публикации: 11.11.2025	Accepted for publication: 11.11.2025

Научная статья
УДК 631.37:681.3

DOI 10.24412/2713-2641-2025-4125-86-99

ЛОГИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА

Сергей Николаевич Перцев^{1✉}, Константин Евгеньевич Муравьев²

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия

¹sn-percev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0668-4266>

²kons-muravev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4503-2781>

Аннотация. Разработка логистического подхода в технической эксплуатации сельскохозяйственного транспорта является важным и актуальным вопросом в сельскохозяйственном производстве. Проанализированы исследования, обосновывающие необходимость контроля технического состояния транспорта. Рассмотрены особенности технической эксплуатации транспорта в сельском хозяйстве, а также основные методики для расчета технологических параметров технического обслуживания автомобилей. Основополагающими факторами являются выбор и расчет параметров технического обслуживания сельскохозяйственного автотранспорта для бесперебойной работы. С учетом новых условий эксплуатации подвижного состава в обслуживании сельскохозяйственной техники применяются логистические инструменты. Одним из перспективных направлений развития транспортной сферы в агропромышленном комплексе может стать внедрение логистического подхода. Выяснена суть интегрированной логистической поддержки на этапе эксплуатации автопарка сельскохозяйственного предприятия. Поэтапная разработанная методика формирования системы интегрированной логистической поддержки эксплуатации сельскохозяйственной техники осуществляется параллельно с развитием информационных систем и цифровых технологий, которые обеспечивают работу производственных подразделений. Ключевым элементом информационной системы являются цифровые технологии. Для автоматизации всех процессов обслуживания и ремонта необходимо

сначала создать базу объектов, подлежащих ремонту и обслуживанию. Это обеспечит эффективную работу с данными о состоянии техники и выполнении необходимых мероприятий для поддержания её работоспособности. Представленный комплекс параметров для предприятий автотранспортного обслуживания способствует поддержанию технической исправности транспортных средств. Логистическая организация и оптимизация процессов имеют ключевое значение для повышения качества ремонтно-обслуживающих воздействий и производительности на 10-12%. Разработанные методы прогнозирования, на основе которых была построена концепция проактивного управления процессом техобслуживания, позволяют оптимизировать структуру и сократить затраты на эксплуатацию техники до 5% и повысить ее надежность при использовании по назначению.

Ключевые слова: логистика, техническое обслуживание, ремонт автомобилей, планирование

Для цитирования: Перцев С.Н., Муравьев К.Е. Логистический подход в технической эксплуатации сельскохозяйственного транспорта // АгроЭкоИнженерия. 2025. № 4 (125) С. 86-99 <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-4125-86-99>

Research article

Universal Decimal Code 631.37:681.3

LOGISTIC APPROACH IN THE TECHNICAL OPERATION OF AGRICULTURAL TRANSPORT

Sergey N. Pertsev^{1✉}, Konstantin E. Muraviev²
Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Russia

¹sn-percev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0668-4266>

²kons-muravev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4503-2781>

Abstract. The development of a logistics-based approach to the technical operation of agricultural transport is an important task in agricultural production. The article reviews the research that supports the need for monitoring the technical condition of vehicles. It considers specific features of technical operation of vehicles in agriculture, and the main methods for calculating the technological parameters of vehicle maintenance. The process of choosing and determining the parameters for the maintenance of agricultural machinery is essential for ensuring their smooth functioning. Under the new conditions of transportation, the maintenance of agricultural machinery makes use of logistics tools. Introduction of a logistics approach could be a promising direction for the development of the transport sector in the agro-industrial complex. The article discusses the essence of integrated logistics support at the stage of operating a fleet of agricultural vehicles. The step-by-step methodology for creating an integrated logistics support system for agricultural machinery is developed in parallel with the progress in information systems and digital technologies that support the operations of production units. Digital technologies are a key element of an information system. To automate all maintenance and repair processes, a database of objects that need repair and maintenance is to be created. This will ensure efficient handling of data on the condition of equipment and the necessary measures to be taken to maintain its functionality. The presented set of parameters for motor transport service enterprises contributes to the maintenance of vehicles' technical condition. Logistic organization and process optimization

are crucial for improving the quality of repair and maintenance services and increasing productivity by 10-12%. The developed forecasting methods, which form the basis for the proactive maintenance management concept, optimize the structure and reduce the cost of vehicle operation by up to 5%, while also improving its reliability for intended use.

Keywords: logistics, maintenance, vehicle repair, planning

For citation: Pertsev S.N., Muravyev K.E. Logistic approach in the technical operation of agricultural transport. *AgroEcoEngineering*. 2025;4(125): 86-99. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-4125-86-99>

Введение. Деятельность предприятий агропромышленного комплекса сосредоточена на решении главной задачи – выращивании сельскохозяйственных культур. Эффективное использование техники играет ключевую роль в достижении этой цели. В последние десять лет значительный рост потребления сельскохозяйственной продукции связан, в первую очередь, с ростом населения в развивающихся странах и увеличением потребления продуктов животного происхождения.

В то же время, темпы роста продуктивности сельского хозяйства замедляются согласно прогноза научно-технологического развития АПК Российской Федерации на период до 2030 года, что объясняется постепенным исчерпанием долгосрочных эффектов «зелёной революции».

В последнее время наблюдается рост объёма перевозок. В современном сельском хозяйстве основным видом транспорта стали автомобили, которые обеспечивают до 80% всех перевозок. В то же время на тракторный парк приходится лишь 16% объёма перевозок сельскохозяйственных грузов⁵. А структура объёма перевозок сельскохозяйственных грузов выглядит следующим образом: удобрения – 35,0%, корма (в стойловый период) – 34,5%, зерно – 9,5%, картофель – 7,3%, молоко – 4,3%, сахарная свёкла – 4,2%, продукция растениеводства – 4,0%, овощи – 1,2%. Насчитывается более 300 видов наименований грузов, перевозимых сельскохозяйственными предприятиями. При этом грузовой автотранспорт в сельскохозяйственном производстве является главной частью всего процесса получения продукции и успешного развития всего производства.

Исследование [1] описывает условия эксплуатации автотранспортных средств под воздействием природных факторов и подчеркивает необходимость контроля их технического состояния. В работе [2] рассматриваются особенности технической эксплуатации автомобилей в сложных климатических условиях, включая низкие и высокие температуры, а также ситуации, когда транспортные средства находятся вдали от постоянных баз. Также перечислены меры, направленные на поддержание их технической исправности.

Важно отметить, что в автопарках агропромышленных комплексов осуществляется подготовка транспортных средств для сельскохозяйственных перевозок. В работе [1] представлен список мероприятий, направленных на подготовку автомобилей к транспортировке сельскохозяйственной продукции и сохранению урожая.

Исследование [3] подчеркивает необходимость контроля их технического состояния. В работе [4,5] рассматриваются особенности технической эксплуатации автомобилей и перечислены меры, направленные на поддержание их технической исправности. Авторы

⁵ Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов РФ на период до 2030 года: Постановление Правительства от 8 сентября 2022 г. № 2567-р. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://mcx.gov.ru/upload/iblock/fda/p8s312xvzbzgbnme51z16c_4mmn5rnlp.pdf/ (дата обращения 15.11.2025)

работ [6] предлагают основные методики для расчета технологических параметров технического обслуживания автомобилей.

Цель исследования заключается в теоретическом обосновании применения логистического подхода в технической эксплуатации сельскохозяйственного транспорта, с применением интегрированной логистической поддержки как последовательности шагов по решению технических задач.

Материалы и методы. Техническое обслуживание и ремонт автотракторной техники могут осуществляться с использованием логистической системы.

Интегрированная логистика на этапе эксплуатации автотранспорта выполняет следующие задачи [7]:

- информационное сопровождение технического обслуживания и материально-технического обеспечения;
- увеличение интервала между ремонтнообслуживающими воздействиями;
- сбор в реальном времени данных состояния узлов и механизмов автомобиля и двигателя, а также накопление информации в единой базе данных и определение их технического состояния;
- выявление неисправностей и отказов;
- анализ и прогноз текущего состояния автомобиля и всего автопарка;
- оптимизацию периодичности технических обслуживаний;
- ведение электронных эксплуатационных дел отдельных автомобилей;
- организацию поставки запасных частей.

Внедрение интегрированной логистической поддержки в автопарках агропромышленного комплекса позволит:

- оптимизировать затраты на проведение плановых обслуживаний и ремонтов транспортных средств;
- проводить технические обслуживания и ремонты по состоянию;
- вести мониторинг процесса ремонта и технического обслуживания;
- собирать актуальную информацию для предиктивного анализа неисправностей;
- улучшить управление запасами запчастей и процесс их пополнения.

Транспортная логистика может быть эффективно применена в процессе технического обслуживания и ремонта автомобилей. Это связано с тем, что перерывы в перевозках по техническим причинам увеличивают сроки доставки грузов и могут привести к финансовым потерям, особенно во время сбора урожая. Согласно данным Федерального научного агроинженерного центра ВИМ при оптимальной организации технического сервиса время, затрачиваемое на обслуживание и ремонт, сокращается на 8-12%, наработка на машину увеличивается на 20-28%, а производительность повышается на 34-46% [4].

Только тщательное планирование обслуживания может сократить простои и обеспечить непрерывность перевозок [8]. В этом процессе ключевую роль играет цифровизация. Создание базы данных по ремонту и распределение задач между различными автомобилями и тракторами помогает оптимизировать обслуживание и снизить затраты.

В настоящее время разработка производственной программы для технического обслуживания и текущего ремонта техники планируется на расчетный период (год, квартал, месяц) с учетом периодичности обслуживания и нормативной трудоемкости работ по различным видам технического обслуживания и ремонта [1]. Использование детерминированных методов расчета, включая прогнозирование и оценку вероятности отказа

узлов (агрегатов), упрощает процесс составления производственной программы, но может снижать точность прогноза [9]. Внедрение операционного и логистического управления техническим обслуживанием в структуре сельскохозяйственного предприятия поможет сократить затраты, улучшить качество перевозок и обеспечить выполнение работ по обслуживанию техники в соответствии с техническим регламентом.

Связь между операционным и логистическим управлением в сфере технического обслуживания представляет собой интересную тему. Исследования заключаются в анализе логистических аспектов, связанных с проведением технического обслуживания автомобилей в нужное время и с минимальными затратами, при этом обеспечивая высокое качество выполнения работ [9]. Расчет производственной программы технического обслуживания автопарка должен учитывать корректировку периодичности технического обслуживания и ремонта транспортных средств, которые постоянно используются в перевозках.

С учетом вероятностного характера изменений параметров технического состояния и условий эксплуатации автомобилей, повышается точность прогнозирования, а логистический подход способствует более эффективному использованию автопарка [9]. Использование научно обоснованных методов управления техническим обслуживанием и ремонтом автомобилей, включая математическое моделирование производственных процессов и линейное программирование, возможно с применением цифровых технологий и искусственного интеллекта.

Ключевым аспектом является то, что логистическое обеспечение должно находиться под постоянным контролем информационных потоков в системе технического обслуживания и ремонта автомобилей. Формирование информационных потоков сокращает расходы на запасные части и не позволяет создавать избыточные запасы при планировании технического обслуживания.

Результаты исследования. Создание логистической структуры в транспортном парке может быть применим при развитии информационных систем и цифровых технологий, обеспечивающих работу подразделения сельскохозяйственного предприятия. Рассмотрим управление процессами технического обслуживания и ремонта автомобилей как внутрипроизводственную логистическую систему. Автопарк сельскохозяйственных предприятий как часть макрологистической системы на макроуровне выступает источником материальных и транспортных услуг, а также технических, связанных с техническим обслуживанием и ремонтом автомобилей. На микроуровне автопарк рассматривается как внутрипроизводственная логистическая система с материальными и информационными потоками, движение которых внутри системы реализуется в виде услуг по техническому обслуживанию и ремонту. Управление автопарком инженерно-технической службой с использованием логистического подхода включает разработку новых методов и моделей для принятия управленческих решений. Эффективность работы системы организации технического обслуживания и ремонта, а также надежность автомобилей достигаются за счет оптимизации логистической структуры автопарка и внедрения современных цифровых информационных технологий, что сокращает затраты на техническое обслуживание и ремонт. Для эффективной работы предприятия предполагается анализ логистической поддержки, планирование процессов технического обслуживания и ремонта, интегрирование материально-технического обеспечения, обеспечение обслуживающего персонала необходимой электронной эксплуатационной и ремонтной документацией [7].

В создаваемой логистической структуре инженерно-технической службы АТП должен быть предусмотрен информационный комплекс, который будет собирать и обобщать данные [10]. Во-первых, это статистические формы, содержащие информацию о наработках до предельного состояния деталей, узлов и материалов, а также параметры, отражающие изменения их технического состояния в зависимости от пробега автомобиля. Во-вторых, необходимо разработать модели расчета на трех уровнях: периодичности технического обслуживания, наработок до проведения предупредительных ремонтов, а также наработок до капитальных ремонтов и списания. Это позволит выбирать наиболее подходящую расчетную модель в зависимости от доступной информации.

Оптимальная периодичность технического обслуживания, от которой зависят текущие затраты на выполнение технологических процессов по обслуживанию автомобилей, определяется на основе предельно допустимого значения и закономерностей изменения параметров, отражающих техническое состояние [8]. Зная, как изменяется техническое состояние соединения, узла или механизма в зависимости от пробега, а также допустимые значения параметров ТО, можно установить оптимальную периодичность обслуживания как графически, так и аналитически.

Автомобили, как сложные технические изделия, должны быть безопасными, долговечными и экономичными, поскольку они представляют собой долгосрочные инвестиции и должны обладать высокой конкурентоспособностью на рынке. Для достижения этих целей необходима интегрированная логистическая поддержка [9]. Компетенции специалистов должны основываться на опыте работы с современными автоматизированными системами и программным обеспечением, а также на знании стандартов, подходов и методик, которые обеспечивают эффективное решение задач логистической поддержки. Это позволит повысить эффективность использования автомобильной техники и поддерживать её в рабочем состоянии, что, в свою очередь, поможет сократить простои и избежать потерь урожая и недополученной прибыли [10].

В отличие от традиционной системы технического обслуживания и ремонта, интегрированная логистическая поддержка учитывает особенности эксплуатации техники в сельском хозяйстве. Это позволяет оптимизировать процессы обслуживания, поставки запчастей, вспомогательного оборудования, а также эксплуатационно-технической документации и других связанных аспектов.

Внедрение интегрированной логистической поддержки в автопарках позволит [9]: сократить объемы планового обслуживания, оптимизировать время между обслуживаниями; обновить данные о техническом состоянии оборудования для прогнозирования возможных неисправностей; снизить затраты на техническое обслуживание и ремонт; повысить эффективность планирования этих процессов; а также оптимизировать процесс заказа и поставки запчастей и материалов для материально-технического обеспечения.

Была разработана методика формирования системы интегрированной логистической поддержки эксплуатации сельскохозяйственного транспорта [3].

1. Определение текущего состояния автомобилей.

На данном этапе идет подготовка данных о состоянии техники. Определяются показатели ресурса автомобиля, количество технических обслуживаний и ремонтов, срок следующего обслуживания.

Сбор информации о текущем состоянии и оценка по следующим показателям:

- пробег автомобилей до обслуживания, до ремонта, до полного износа;

- исправность отдельных систем, узлов и механизмов автомобилей;
- работоспособность техники;
- объем работ по видам технического обслуживания.

2. Планирование технического обслуживания и ремонта на запланированный период.

На этом этапе определяется количество и тип транспорта, требующий обслуживания и ремонта, а также расход запасных частей и материалов.

3. Оценка эксплуатационной надежности всего автомобильного парка.

На данном этапе определяются конструктивные, производственные и эксплуатационные характеристики транспорта. Они оцениваются такими техническими показателями надежности эксплуатации автомобильного парка как безотказность, ремонтпригодность, долговечность, сохраняемость и готовность. Они влияют на эффективность формирования системы интегрированной логистической поддержки.

Коэффициент k_n , отражающий эксплуатационную надежность транспорта для оценки системы интегрированной логистической поддержки, рассчитывается на основе коэффициентов интегрированной логистической поддержки эксплуатационной надежности агрегатов, входящих в состав автомобиля. Он показывает долю времени, в течение которого автомобиль находится в работоспособном состоянии, относительно общего периода эксплуатации и основан на коэффициенте технической готовности. Он рассчитывается по формуле [7]:

$$k_n = \frac{T_{cl} - t_{cp}}{T_{cl} - t_{cp} + t_e + t_c}, \quad (1)$$

где T_{cl} – показатель долговечности, средний срок службы; t_{cp} – показатель безотказности, средняя наработка на отказ; t_e – показатель ремонтпригодности, среднее время восстановления; t_c – показатель сохранности, средний срок сохраняемости.

Единицей измерения коэффициента используется время исправного работоспособного состояния, технического обслуживания и ремонта, задержек из-за отсутствия необходимых запасных частей на складе [9].

Данный коэффициент для полностью исправной техники, не требующей обслуживания и ремонта, а также не имеющей случаев отказа, будет равен 1 [8]. В случае возникновения отказов и неисправностей этот показатель будет меньше 1. Это показывает, что в процессе эксплуатации техники её надежность постепенно снижается. Если своевременно выявлять угрозы отказов и неисправностей, а также проводить необходимые технические обслуживания и ремонты, эксплуатационная надежность оборудования может быть восстановлена.

4. Определение предельного состояния автомобиля.

Для определения предельных состояний агрегатов автомобиля существуют различные методы [5]. Использование метода предиктивного (упреждающего) обслуживания снижает время простоя техники на техническом обслуживании и ремонте, а также экономит материальные и человеческие ресурсы, что в свою очередь увеличивает рентабельность автомобильного парка [11].

Встроенные бортовые устройства, регистрирующие информацию о состоянии и работе систем автомобиля во время эксплуатации [4]. Это выявляет источник потенциальной опасности (отказа) и уменьшает необходимость в непосредственном осмотре систем и механизмов автомобиля.

Это позволяет проводить техническое обслуживание только для тех узлов и механизмов, которые в этом нуждаются. Это снижает общую трудоемкость проведения обслуживающих работ, уменьшает затраты на запасные части [4]. Позволяет идентифицировать состояние для каждого узла и агрегата, составлять график и содержание работ по техническому обслуживанию и ремонту.

5. Определение содержания работ и составление графика по техническому обслуживанию и ремонту с целью разработки плана проведения работ для увеличения показателей эксплуатационной надежности парка.

6. Распределение различных видов работ за исполнителями.

Это позволяет определить оптимальную структуру и функции подразделений мастерской и пункта технического обслуживания.

Строгая последовательность планирования технического обслуживания, ремонта и материально-технического обеспечения эксплуатации автомобильной техники, основанная на проактивном подходе, позволит повысить эксплуатационную надежность автопарка [7]. Такой подход позволяет активно управлять обслуживанием автомобилей и учитывать проведенные ранее воздействия и состояние техники на данный момент на основе единой аналитической базы данных для анализа и эксплуатационной документации (рисунок).

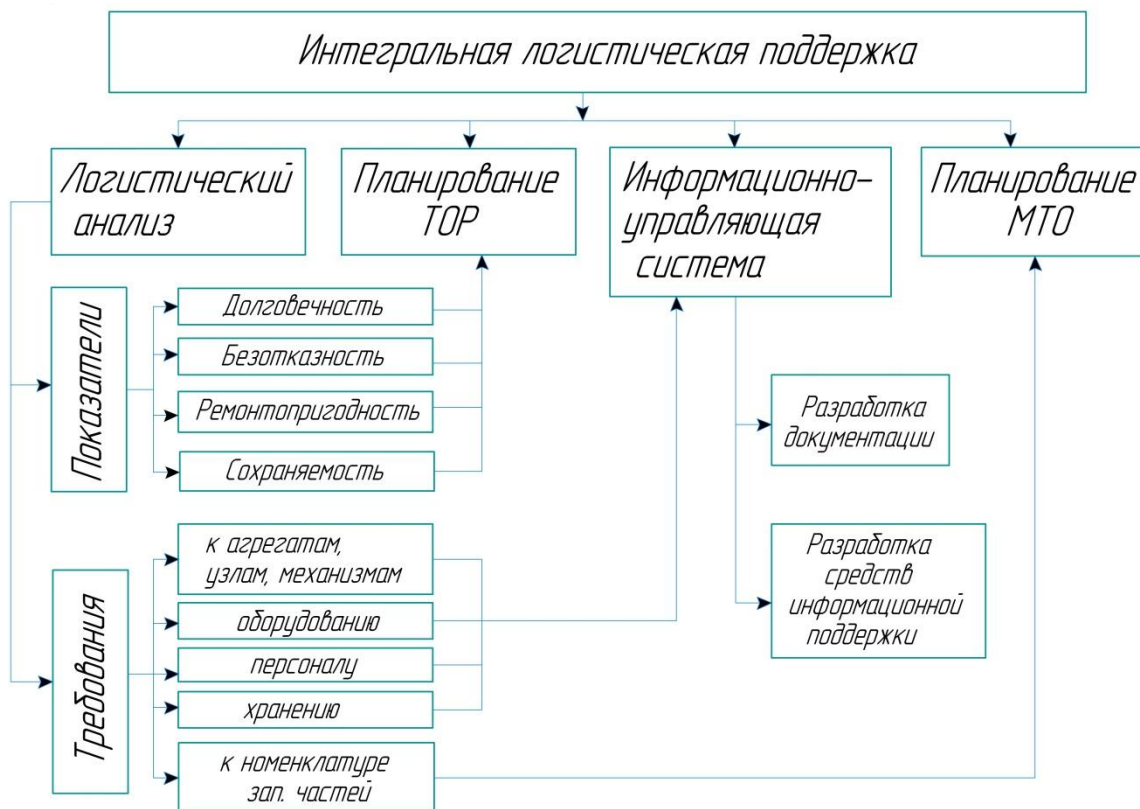


Рисунок. Схема интегрированной логистической поддержки наукоемкой продукции

Figure. Integrated logistics support scheme for science-intensive products

На современном этапе различные ИТ-решения, начиная от электронных таблиц Excel и заканчивая сложными системами мониторинга и диагностики, такими как Enterprise Asset Management (EAM), составляют программное обеспечение процесса обслуживания автомобилей [8]. Эти программы помогают управлять и обслуживать активы, обеспечивая оптимальную и эффективную работу автотранспорта. Они способствуют снижению простоев

и минимизации затрат на ремонт и техническое обслуживание, а также автоматизируют процессы управления ремонтом и техническим обслуживанием.

Планирование технического обслуживания согласуется с производственными графиками работы автопредприятия. Это позволяет проводить обслуживание вовремя, когда снижена потребность в технике, что снижает производственные риски. В то же время подготовленная и обслуженная техника обеспечит работу автотранспорта без отказов в работе. Это будет способствовать стабильности функционирования сельскохозяйственного предприятия. С другой стороны, упрощается процесс технического обслуживания и ремонта, возрастает его доступность и повышается качество обслуживания техники.

Для автоматизации технического обслуживания и ремонта в аграрных предприятиях используются различные программы. Наиболее популярной на сегодняшний день является новая версия технологической платформы «1С: Предприятие 8.3», имеющая следующие возможности [8]:

- обеспечить высокую надежность и производительность оборудования;
- организовать работу через Интернет;
- создавать мобильные рабочие места с использованием планшетов и смартфонов на базе iOS или Android;
- настраивать интерфейс под конкретного пользователя.

Данная программа, во-первых, имеет большой объем справочной информации, в том числе каталог запчастей, позволяет создавать базы технических данных автомобилей. Во-вторых, вести учет остатков деталей на складе, формировать потребность в запчастях. В-третьих, программа позволяет составлять и корректировать планы-графиков технического обслуживания и ремонта на заданный период. В-четвертых, позволяет планировать финансовые затраты. Важным элементом программы является регистрация, анализ и классификация возникших дефектов, составление отчетов о выполненных работах по устранению дефектов, учет состояния автомобилей, списание запчастей и другие функции.

Собираемая информация дает возможность составлять план-графики ремонтов и технического обслуживания. Все обслуживаемые работы производятся по технологическим картам технического обслуживания и ремонта [6]. Все основные технологические операции производятся с указанием нормативных затрат на материально-техническое обеспечение и трудоемкости работ. Все производимые технические воздействия фиксируются в программе, что является в дальнейшем информацией для установления следующих обслуживаний, их периодичность для каждого автомобиля.

Система автоматически генерирует годовой отчет о потребностях в материально-техническом обеспечении, что позволяет предприятию своевременно закупать необходимые детали, инструменты и материалы для ремонта и обслуживания [1]. Ведение истории показаний измерительных приборов помогает отслеживать текущее состояние техники. Обслуживаемые мероприятия могут проводиться на основе наработки, технического состояния или их комбинации. Нарботка оборудования может измеряться в машино-часах или километрах пробега.

Система позволяет отслеживать состояние техники, включая ремонт, консервацию и аварийные простои. Это обеспечивает возможность оперативного получения информации о простоях за определённый период и расчёта показателей эффективности использования оборудования.

К сожалению, такие программы не учитывают особенности аграрной сферы и сезонный характер производственных работ [12]. Техническое обслуживание и ремонт проводятся в межсезонье и требуют использования адаптированных программных решений для сельского хозяйства. В агропромышленном комплексе ремонт и техническое обслуживание имеют свои специфические черты [13]. Все это способствует повышению эффективности работы организации до 10%, снижение затрат на обслуживание и ремонты на 5%, контроль качества выполненных работ, уменьшение запасов материально-технических ресурсов на складе на 30% и сокращение случаев отказа оборудования.

Обсуждение. Планирование технического обслуживания, ремонта и материально-технического обеспечения по методике системы интегрированной логистической поддержки эксплуатации автомобилей позволяет выстраивать структурно-логическую последовательность выполнения операций по обслуживанию техники [8]. В центре данной методики лежит предиктивный подход к техническому обслуживанию, который позволяет на основе метода анализа данных предугадать будущие отказы и неисправности на основании уже существующих данных.

Данная методика дает возможность эффективно организовывать процесс ремонтно-обслуживающих воздействий и их материально-технического обеспечения [11], приводит к увеличению эксплуатационной надежности автомобильного парка.

Техническое обслуживание и ремонт оборудования играют ключевую роль в интегрированной логистической поддержке и базируются на методах и инструментах технической диагностики. Процедура решения общей задачи технического диагностирования включает несколько этапов [3]: сбор диагностической информации по каждому транспортному средству, ее анализ, расчет вероятностной оценки технического состояния, а также разработка и обоснование рекомендаций по эксплуатации, техническому обслуживанию или ремонту.

Автоматизация процесса технического диагностирования указанных процедур создает реальные возможности для разработки интеллектуальной системы [11]. Эта система будет применять адаптивные настройки и элементы теории нечетких множеств, а также обеспечивать персонализированное прогнозирование количественных оценок технических состояний.

Выводы. В сельскохозяйственном производстве эффективность от внедрения логистики проявляется в мониторинге качества подготовки транспорта и управлении производственными процессами технической эксплуатации. Повышение качества проведения технического обслуживания и ремонта может быть достигнута за счет логистической организации и оптимизации процессов технической эксплуатации сельскохозяйственного транспорта. Улучшение управления запасными частями, улучшение логистических подходов к обслуживанию техники, стандартизация ремонтно-обслуживающих операций и эффективное управление диагностическими данными способствуют снижению эксплуатационных затрат, снижению отказов. Качественное ремонтное обслуживание обеспечит бесперебойную работу автомобилей и будет способствовать повышению общей эффективности бизнеса, поможет сельскохозяйственным предприятиям сократить затраты на эксплуатацию техники до 5% и повысить ее надежность при использовании по назначению.

Логистическая организация и оптимизация процессов имеют ключевое значение для повышения качества ремонтно-обслуживающих воздействий и повышения производительности на 10-12%.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Муравьев К. Е., Перцев С. Н. Инженерно-техническая служба предприятий АПК в период цифрового сельского хозяйства. // Известия Международной академии аграрного образования. 2023. № 67. С. 86-91. EDN: IOKSMW
2. Апажев А. К., Шекихачев Ю. А., Ашабоков Х. Х., Шекихачева Л. З. Исследование влияния природно-климатических и дорожных условий на эксплуатационные показатели автомобиля // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2024. № 4(46). С. 96-104. EDN: WJIFTA
3. Перцев, С. Н., Муравьев К.Е. Логистический подход к сельскохозяйственным перевозкам. // Приоритеты развития АПК в условиях цифровизации и структурных изменений национальной экономики: Матер. межд. науч.-практ. конф. профессорско-преподавательского состава. (Санкт-Петербург - Пушкин, 15 марта 2024 г.). СПб: СПбГАУ. 2024. С. 27-32. EDN: HEQCIW
4. Лянденбургский В. В., Кухмазов К. З., Иванов А. С. Система технического обслуживания и ремонта автомобилей с применением бортовой диагностики. Пенза: Пензенский государственный аграрный университет. 2024. 2024 с. EDN: RDUJZR
5. Циганов Г. С., Шмелев В. Ю., Лянденбургский В. В. Влияние системы бортовой диагностики на экологические показатели автомобиля // Приднепровский научный вестник. 2025. № 1(2). С. 148-150. EDN: FDLZSU
6. Кушнаренок Д. С. Обоснование статистических параметров для методики технологического расчёта станций технического обслуживания легковых автомобилей // Научные вести. 2019. № 5(10). С. 171-175. EDN: AKYAAAT
7. Метельская М. Н., Белякова Е. В. Методика формирования системы интегрированной логистической поддержки эксплуатации авиационной техники // Менеджмент социальных и экономических систем. 2019. № 2. С. 39-44. EDN: HCYQTC
8. Кыдыков А. А. Применение логистических принципов в производственных процессах технического обслуживания и ремонта автомобилей в автотранспортных предприятиях // Наука и новые технологии. 2014. № 1. С. 19-21. EDN: UHPFKH
9. Толмачев О. М. Проблемы логистики в российском АПК // Экономика и социум: современные модели развития. 2022. №12(3). С. 183-194. EDN: WDUSCG
10. Рыжая А. А., Белякова Е. В., Добрачев С. С. Состояние рынка технического обслуживания и ремонта автомобильного транспорта в России // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: сб. матер. Всеросс. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (Красноярск, 21-22 апреля 2022 г.). Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева. 2022. С. 1095-1097. EDN: VUZFHU
11. Белякова Е. В., Рыжая А.А. Логистическое обеспечение технического обслуживания и ремонта воздушных судов // Решетневские чтения: Матер. XXV Межд. науч.-практ. конф. (Красноярск, 10-12 ноября 2021 г.) / Под общей ред. Ю.Ю. Логинова. Красноярск: Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева. 2021. Часть 2. С. 526-528. EDN: QTYYRE

12. Зюкин Д. А., Вакуленко Р. Я., Болычева Е. А., Яковлев Н.А., Ронжина М.А. Роль транспортной логистики в развитии российского агропромышленного комплекса // Международный сельскохозяйственный журнал. 2023. № 5(395). С. 471-474. EDN: RBDPFT
13. Valge A. M., Sukhoparov A.I., Perekopsky A.N. Optimization of transport support for forage harvesters // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 941, 012021. EDN: LTDDUE

REFERENCES

1. Muravev K. E., Pertsev S. N. Engineering and technical service of agricultural enterprises in the period of digital agriculture. *Izvestiya Mezhdunarodnoi akademii agrarnogo obrazovaniya = Izvestiya International Academy of Agrarian Education*. 2023; 67: 86-91. (In Russ.) EDN: IOKSMW
2. Apazhev A. K., Shekikhachev Yu. A., Ashabokov H. H., Shekikhacheva L. Z. Research of the influence of natural, climatic and road conditions on vehicle performance indicators. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. V.M. Kokova = Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University Named after V.M. Kokov*. 2024;4(46):96-104. (In Russ.) EDN: WJIFTA
3. Pertsev S. N., Muravyev K.E. Logistic approach to agricultural transportation. In: *Priorities of Agro-Industrial Complex Development in the Context of Digitalization and Structural Changes of the National Economy: Proc. Int. Sci. Prac. Conf. of the teaching staff (Saint Petersburg - Pushkin, March 15, 2024)*. Saint Petersburg: SPbSAU. 2024: 27-32. (In Russ.) EDN: HEQCIW
4. Lyandenbursky V. V., Kukhmazov K. Z., Ivanov A. S. Vehicle maintenance and repair system using on-board diagnostics. Penza: Penza State Agrarian University. 2024. 2024 p. (In Russ.) EDN: RDUJZR
5. Tsiganov G. S., Shmelev V. Yu., Lyandenbursky V. V. The influence of the on-board diagnostic system on the environmental performance of vehicles. *Pridneprovskii nauchnyi vestnik = Pridneprovsky Scientific Bulletin*. 2025;1(2):148-150. (In Russ.) EDN: FDLZSU
6. Kushnarenko D. S. Substantiation of statistical parameters for the methodology of technological calculation of passenger car service stations. *Nauchnye vesti = Scientific News*. 2019; 5(10):171-175. (In Russ.) EDN: AKYAAT
7. Metelskaya M. N., Belyakova E. V. Methodology of formation of system of integrated logistic support of aviation equipment operation. *Menedzhment sotsial'nykh i ekonomicheskikh system = Social and Economic Systems Management*. 2019;2:39-44. (In Russ.) EDN: HCYQTC
8. Kydykov A. A. Application of the principles of logistics in the manufacturing processes of maintenance and repair of motor vehicles in enterprises. *Nauka i novye tekhnologii = Science and new technologies*. 2014; 1:19-21. (In Russ.) EDN: UHPFKH
9. Tolmachev O. M. Logistics problems in the Russian agro-industrial complex. *Ekonomika i sotsium: sovremennye modeli razvitiya = Economics and Society: Contemporary Models of Development*. 2022; 12 (3):183-194. (In Russ.) EDN: WDUSCG
10. Ryzhaya A. A., Belyakova E. V., Dobrachev S. S. The state of the market for maintenance and repair of motor transport in Russia. In: *Young Scientists in Solving Urgent Problems of Science: Proc. All-Russ. Sci. Prac. Conf. of Students, Postgraduates and Young Scientists (Krasnoyarsk, April 21-22, 2022)*. Krasnoyarsk: Siberian State University of Science and Technology. 2022: 1095-1097. (In Russ.) EDN: VUZFHU
11. Belyakova E. V., Ryzhaya A.A. Maintenance and repair aircraft logistics support In: *Reshetnev Readings: Proc. XXV Int. Sci. Prac. Conf. (Krasnoyarsk, November 10-12, 2021) / Loginov Yu.Y.*

(ed.) Krasnoyarsk: Siberian State University of Science and Technology. 2021; 2: 526-528. (In Russ.) EDN: QTYyre

12. Zyukin D.A., Vakulenko R.Ya., Bolycheva E.A., Yakovlev N.A., Ronzhina M.A. The role of transport logistics of the Russian agro-industrial complex development. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal = International Agricultural Journal*. 2023;5(395):471-474. (In Russ.) EDN: RBDPFT

13. Valge A. M., Sukhoparov A.I., Perekopsky A.N. Optimization of transport support for forage harvesters. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021; 941, 012021. (In Eng.) EDN: LTDDUE

Об авторах	About the authors
Перцев Сергей Николаевич канд. техн. наук, <i>доцент</i> кафедры «Автомобили, тракторы и технический сервис», Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2, Санкт-Петербург, Россия sn-percev@yandex.ru	Sergey N. Pertsev, Cand. Sc. (Engineering), Associate Professor of the Department of Automobiles, Tractors and Technical Service, Saint Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoje Shosse, 2, Saint Petersburg, Russia sn-percev@yandex.ru
Константин Евгеньевич Муравьев канд. техн. наук, <i>доцент</i> кафедры «Автомобили, тракторы и технический сервис», Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2, Санкт-Петербург, Россия kons-muravev@yandex.ru	Konstantin E. Muraviev, Cand. Sc. (Engineering), Associate Professor of the Department of Automobiles, Tractors and Technical Service, Saint Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoje Shosse, 2, Saint Petersburg, Russia kons-muravev@yandex.ru
Заявленный вклад авторов Все авторы внесли равный вклад в работу, в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность	Stated authors' contribution All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism
Конфликт интересов Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи к публикации.	Conflict of interest The authors declare that there is no conflict of interest The authors have read and approved the final version of the manuscript for publication.
Статья поступила в редакцию: 26.05.2025	Received: 26.05.2025
Одобрена после рецензирования: 22.10.2025	Approved after reviewing: 22.10.2025
Принята к публикации: 11.11.2025	Accepted for publication: 11.11.2025

СНИЖЕНИЕ ВЫБРОСОВ МОНООКСИДА УГЛЕРОДА В СИЛОВЫХ УСТАНОВКАХ МАЛОГАБАРИТНОЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОРШНЯ

Павел Васильевич Литвинов

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия

p_vasilich55@mail.ru; [https://orcid.org/ 0000-0002-4411-155X](https://orcid.org/0000-0002-4411-155X)

Аннотация. В ближайшие 15 лет приоритетами научно-технологического развития Российской Федерации в области сельскохозяйственной техники будут научные направления, обеспечивающие переход к экологически чистому агрохозяйству. Рациональным методом достижения поставленных задач является разработка и внедрение современных методов снижения выбросов вредных веществ из силовых установок сельскохозяйственной техники, позволяющих контролировать объём выбросов, прогнозировать их количество на стадии проектирования техники с целью достижения максимальной экологической безопасности и экономической эффективности. В данной статье рассматриваются особенности применения каталитически активных материалов внутри цилиндра бензинового двигателя внутреннего сгорания малогабаритных сельскохозяйственных машин. Анализируются расчётные значения снижения выбросов монооксида углерода в популярных моделях малогабаритной сельскохозяйственной техники. Обсуждаются актуальные способы снижения выбросов вредных веществ в отработавших газах бензиновых двигателей. Статья описывает методику испытаний и показывает графики снижения выбросов монооксида углерода при различных режимах работы двигателя. В заключении подчеркивается важность внедрения современных технологий, способствующих повышению экологической безопасности техники, используемой в агропромышленном комплексе. Рассмотрены дальнейшие перспективы развития данного направления, обозначены темы дальнейших исследований.

Ключевые слова: каталитическая модификация, двигатель внутреннего сгорания, малогабаритная сельскохозяйственная техника, экологическая безопасность

Для цитирования: Литвинов П.В. Снижение выбросов монооксида углерода в силовых установках малогабаритной сельскохозяйственной техники при использовании модифицированного поршня // АгроЭкоИнженерия. 2025. № 4(125). С. 99-112 <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-4125-99-112>

Благодарности: Автор выражает благодарность к.х.н. Борисову В.А. за предоставление материалов и д.т.н. Ведрученко В.Р. за помощь в организации эксперимента.

Research article

Universal Decimal Code 631.372:621.43.05

REDUCING CARBON MONOXIDE EMISSIONS IN POWER PLANTS OF SMALL
AGRICULTURAL MACHINES BY A MODIFIED PISTON

Abstract. In the coming fifteen years, the focus of scientific and technological progress in agricultural machinery in Russia will be on academic areas that support the transition to more environmentally friendly farming practices. A rational approach to achieving this goal is to develop and introduce state-of-the-art techniques, which would lower the harmful emissions from power plants of agricultural machines. This would allow for controlling the emissions and forecasting their amount at the design stage in order to ensure the greatest environmental safety and economic efficiency. This article explores the unique characteristics of employing the catalytically active materials inside the cylinder of a gasoline internal combustion engine within compact agricultural machinery. The article analyses the calculated values of reducing carbon monoxide emissions from popular models of such machinery. The article discusses the current methods for emission abatement of harmful substances in exhaust gases from a gasoline engine. It outlines the testing process and presents the charts illustrating the reduction of carbon monoxide emissions across different engine operating conditions. In the final section, the article highlights the significance of implementing the advanced technologies that would improve the environmental friendliness of machinery employed in the agricultural sector. The article also explores the potential future developments in this field and suggests the areas for further investigation.

Keywords: catalytic modification, internal combustion engine, small-sized agricultural machinery, environmental safety

For citation: Litvinov P. V. Reducing carbon monoxide emissions in power plants of small agricultural machines by a modified piston. *AgroEcoEngineering*. 2025; 4(125): 99-112 (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-4125-99-112>

Acknowledgments: The author expresses gratitude to Candidate of Sciences in Chemistry V.A. Borisov for providing materials and to Doctor of Science in Engineering V. R. Vedruchenko for assistance in organizing the experiment.

Введение. Обеспечение экологической безопасности в агропромышленном комплексе (АПК) является одной из основных задач современных технических и сельскохозяйственных наук. По состоянию на 2024 год на предприятиях и в личных подсобных хозяйствах продолжает увеличиваться количество сельскохозяйственных машин и вспомогательной техники, оснащённой двигателями внутреннего сгорания (ДВС). Так, только в 2024 году количество производимой сельскохозяйственной техники увеличилось на 10 %. Положительная динамика в производстве отмечается с 2022 года, когда наблюдался рост производства на 12,3 % в первом квартале [1].

Одним из современных направлений производства техники в АПК являются малогабаритные сельскохозяйственные машины. Предприятия Российской Федерации, Республики Беларусь и КНР в настоящий момент производят малогабаритную сельскохозяйственную технику, например, такую как трактора Belarus 132, Belarus 152, Belarus 182, Кентавр Т224, Кентавр Т15 и др. (Республика Беларусь); Агромаш МТ-110, Чувашиллер, Батыр ПФ-18, Уралец, КМЗ-012 и др. (Российская Федерация); Скаут, Zubr,

Xingtai, Dong Feng и др. (КНР). Данная техника может быть оснащена как бензиновыми, так и дизельными ДВС, что приводит к вопросу их экологической безопасности.

Экологическая безопасность ДВС различного назначения также является одной из проблем современных технических наук, и, как следствие, в сельском хозяйстве из-за доминирующей роли ДВС как основной силовой установки.

Цель исследования – обоснование использования каталитических материалов в цилиндре двигателей внутреннего сгорания, применяющихся в имеющейся и перспективной малогабаритной сельскохозяйственной технике.

Из-за массового использования ДВС в сельском хозяйстве их замена на иные энергетические установки представляет собой сложную в экономическом и техническом плане задачу. В различных научных работах предложены следующие методы решения вопроса повышения экологической безопасности:

- применение комбинированных энергоустановок [2];
- использование альтернативных видов топлива для улучшения рабочего процесса [3-5];
- использование каталитических нейтрализаторов [6, 7];
- применение внутрицилиндрового катализа [8-12].

Одним из предлагаемых методов является модификация поверхности поршня каталитическими материалами как рассмотрено в работах [9-11]. В данных работах было установлено, что модификация поверхности поршня каталитическими материалами способствует снижению выбросов таких вредных веществ как NO_x и др. В то же время для двигателей с искровым зажиганием одной из основных проблем является наличие выбросов СО и СН. Стандарты по их содержанию, а также путям образования, как для дизельных, так и бензиновых ДВС подробно рассмотрены в работах [13-14]. Так, за период с 1988 по 2025 годы требования ужесточались семь раз и продолжают ужесточаться далее, даже несмотря на отсутствие нормативных экологических значений используемого топлива. Бензиновые ДВС используются в сельском хозяйстве в качестве силовых агрегатов следующих технических средств:

- малогабаритных тракторов;
- вспомогательных бензоинструментов;
- мотоблоков;
- мотокультиваторов;
- стационарных генераторов;
- иных малогабаритных машин, используемых в сельском хозяйстве.

В последнем пункте можно упомянуть разработки, касающиеся различных транспортных средств, используемых как в агропромышленном комплексе, так и в иных сферах, что описано в работах [15-19].

Материалы, методы и объекты исследований. Рассмотрим подробно способ каталитической модификации поверхности поршня и его влияние на экологические показатели. Проведём расчётное исследование экологического ущерба при использовании малогабаритной сельскохозяйственной техники с бензиновым двигателем, опираясь на данные полученные в работах [11, 20, 21].

Данные исследования являлись и являются продолжением мировой практики, что отражено в работах [7-11]. Так, предположения о снижении выбросов вредных веществ рассматривались для различных типов двигателей ещё в 1988 году. При этом токсичность ДВС регулируется различными документами и стандартами, например, Правилами № 24

ЕЭК ООН⁶, Стандартами Евро, на которые ориентируется Технический регламент Таможенного Союза 018/2011⁷ и ГОСТ 23435-79⁸.

В нашей работе используются данные, полученные при испытании двухтактного двигателя 1Д 4,5/3,5 в лабораторных условиях в ЦНХТ СО РАН (г. Омск). Оснащение ДВС необходимым для исследования оборудованием соответствовало действующим российским и международным стандартам, что подробно рассмотрено в работах [9-11]. Для оценки состава отработавших газов двухтактного ДВС 1Д 4,5/3,5 использовался хроматограф Цвет-500М. При осуществлении экспериментальных исследований, предусмотренных действующими стандартами, с двигателя было удалено вспомогательное оборудование, а также подключена система отведения отработавших газов, описанная в работе [11].

Испытания двигателя проходили в три этапа:

На первом этапе проводились экологические испытания одноцилиндрового ДВС с оригинальным поршнем, в рамках которых был произведён анализ полученных проб отработавших газов (ОГ) в газовом хроматографе после их отбора. Количество проб составляло девять для каждого режима работы, а именно:

- на холостом ходу при непрогретом ДВС;
- на максимальной частоте вращения при непрогретом ДВС;
- на холостом ходу при прогретом ДВС;
- на максимальной частоте вращения при прогретом ДВС.

Минимальное количество опытов для определения содержания вредных веществ в отработавших газах выбрано согласно методикам, представленным в работах [23-27].

Перед вторым этапом испытаний были проведены следующие работы:

- замена цилиндропоршневой группы, включающая замену оригинального поршня на модифицированный медно-марганцевым каталитическим материалом;
- замена прокладок;
- регулировка системы топливоподачи и зажигания ДВС.

На втором этапе проводили экологические испытания одноцилиндрового ДВС с поршнем, модифицированным медно-марганцевым покрытием. Работы, выполненные на данном этапе, аналогичны работам на первом этапе исследования [11].

Перед третьим этапом были проведены работы по подготовке ДВС к испытаниям, аналогичные таковым перед вторым этапом. На третьем этапе проводили экологические испытания одноцилиндрового ДВС с поршнем, модифицированным палладиевым

⁶UNECE Regulations 24 “Visible pollutants. Measurement of power of C.I. engines (Diesel smoke)”. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://unece.org/transport/vehicle-regulations-wp29/standards/addenda-1958-agreement-regulations-21-40> (дата обращения: 15.11.2025 г.)

⁷ТР/ТС 018/2011 «О безопасности колёсных транспортных средств» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://sudact.ru/law/reshenie-komissii-tamozhennogo-soiuza-ot-09122011-n_19/tr-ts-0182011/ (дата обращения 15.11.2025 г.)

⁸ГОСТ 23435-79 «Техническая диагностика. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Номенклатура диагностических параметров» [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://internet-law.ru/gosts/gost/14550/> (дата обращения 15.11.2025 г.)

покрытием. Работы, выполненные на данном этапе, аналогичны работам на первом и втором этапах данного исследования.

Важно отметить, что для обеспечения чистоты эксперимента был использован двойной слепой метод: за исключением этапа получения контрольных результатов на проектном поршне, экспериментаторы, как и расшифровщик хроматограмм, не знали, какой поршень в данный момент испытывается.

Результаты исследований. Анализ изменения выбросов СО в зависимости от использования палладиевого либо медно-марганцевого катализатора, внедрённого в поверхность поршня, был проведён в работе [11]. Суть проведённого эксперимента заключалась в сравнении количества вредных выбросов при использовании производственного оригинального поршня и модифицированных поршней с палладиевым и медно-марганцевым каталитическим материалом.

При испытаниях было установлено, что поршень, модифицированный палладиевым катализатором, показывал снижение уровня выбросов вредных веществ на начальном этапе эксперимента, но его использование стало невозможным из-за деградации каталитического материала через непродолжительное время. Было установлено, что палладиевый катализатор деградировал уже к пятому опыту, а в дальнейшем его значения не отличались от аналогичных значений при эксплуатации двигателя с проектным поршнем. Поэтому, при анализе графиков, представленных на рисунке ниже, мы учитывали только данные, полученные при испытаниях медно-марганцевого катализатора [11]. Кроме того, дополнительно были подтверждены результаты исследований прочности полученной поверхности, ранее описанные в работах [14, 28, 29, 30].

На рисунке представлены результаты испытаний модифицированного поршня на снижение уровня выбросов монооксида углерода на непрогретом ДВС.

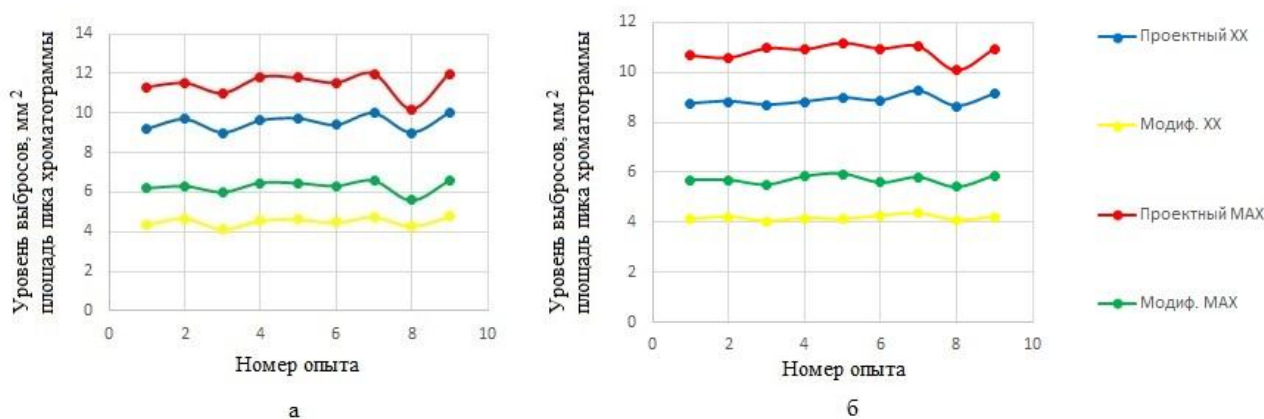


Рисунок. Уровень выбросов монооксида углерода на холодном (а) и прогревом (б) ДВС
Figure. The carbon monoxide emission levels for a cold (a) and warm (b) internal combustion engine

Графики основаны на данных, которые были получены в работе [11]. Согласно этим данным, при использовании модифицированного поршня наблюдается устойчивое снижение выбросов монооксида углерода, как и на холостом ходу (XX), так и на режиме максимальных оборотов (MAX), при эксплуатации непрогретого (а) и прогретого (б) ДВС. Имеющиеся данные были получены методом хроматографии, поэтому количество вредных выбросов анализируется согласно площади пика хроматограммы, соответствующей данному веществу. Исследование показало, что снижение выбросов монооксида углерода колеблется

в пределах от 45 до 53 %. При этом 45 % выбросов монооксида углерода конвертируется при непрогретом двигателе на режиме МАХ, 47 % – на режиме МАХ при прогревом ДВС, а 53 % – на режимах ХХ и МАХ при обеих степенях прогрева ДВС. Для не представленных на графиках данных по палладиевому катализатору процент конверсии колебался от 0 % до 18 %, при этом значение 0 % было получено в более поздних опытах.

На основе полученных данных был определён коэффициент θ_{CO} , принимаемый равным 0,47-0,55. Данный коэффициент используется для расчёта количества вредных выбросов при различных коэффициентах избытка воздуха в случае использования поршня, модифицированного медно-марганцевым катализатором. «Разброс значений коэффициентов связан с разницей в конверсии при различных режимах работы ДВС, в частности, на холостом ходу при запуске они будут иметь меньшее значение, т. е. в уравнениях демонстрируется обратная зависимость – чем выше конверсия, тем меньше коэффициент» [11 с. 47].

Использование полученного коэффициента при конструировании сельскохозяйственной техники позволит уже на этапе разработки определить ряд преимуществ. Одними из способов повышения экологичности сельскохозяйственной техники является применение гибридных сельскохозяйственных машин, а также использование альтернативных видов топлива [2, 3, 17, 18, 23]. Данные способы подразумевают дальнейшее использование ДВС. Более того, несмотря на постоянные прогнозы относительно постепенной замены транспортных средств с ДВС на электрические, их точность вызывает сомнения. К тому же последние события показывают, что многое зависит не от технической или экологической необходимости, а от политических факторов.

Кроме того, для многих стран подобный переход будет затруднителен как с экономической, так и с климатической точки зрения. Подобный переход напрямую зависит от способов получения электроэнергии, поскольку большая её часть по-прежнему производится при помощи ископаемого органического топлива, что вызывает сравнение использования ДВС с использованием электрических двигателей, что, в свою очередь, отражено в различных исследованиях [2, 10, 11]. Основным моментом сравнения является то, что тепловые электростанции в данном случае будут потреблять почти в три раза больше ископаемых энергоресурсов, чтобы обеспечить то же количество произведённой работы электрическими тракторами, что и тракторами с дизельными и бензиновыми ДВС [23]. К тому же, полностью электрические транспортные средства, в том числе сельскохозяйственные машины, требуют развитой инфраструктуры, создание которой, особенно в северных частях страны, потребует больших капиталовложений и затрат времени. Это свидетельствует о том, что даже в случае принятия решения о развитии подобной инфраструктуры, техника с ДВС будет использоваться как до введения в эксплуатацию данной инфраструктуры, так и после неё, даже несмотря на то, что вредные выбросы ДВС напрямую влияют на снижение качества сельскохозяйственных культур и здоровье сельскохозяйственных животных и человека, прямо и опосредованно взаимодействующих с данными культурами (например, картофелем, подсолнечником, зерновыми и т.д.), а также самой техникой [23, 24]. Тем не менее, более подробное сравнение является темой дальнейших исследований.

Малогобаритная сельскохозяйственная техника, включающая в себя мобильные и стационарные энергетические средства и машины, в среднем работает от 200 до 3000 моточасов. Так, к примеру, выпускаемые ЗАО «Красный Октябрь» в г. Санкт-Петербург

моторблоки МБ23-Б10,0 с двигателем *Briggs&Stratton XR PROFESSIONAL* мощностью 10 л. с. имеет заявленный ресурс 1250 моточасов; моторблоки МБ23-Н9,0 *PRO* с двигателем *Honda GX270* мощностью 9 л. с. – 2000 моточасов; моторблок МБ23-*YAMAHA (MX250) PRO* с двигателем *Yamaha MX250 PRO* мощностью 11 л. с. – 3000 моточасов [23]. Схожие значения имеют моторблоки МУЛ, ОКА, УГРА, АГАТ и др. Несколько иная картина наблюдается для моторблоков сверхлёгкого класса, чаще всего оснащённых двухтактным ДВС – их ресурс составляет от 300 до 800 моточасов.

Кроме того, развитие крестьянско-фермерских хозяйств подразумевает использование малогабаритных тракторов. Здесь можно выделить такие модели как *Belarus-152* и *Belarus-182*, также оснащённые бензиновыми двигателями. У моторблоков сверхлёгкого класса чаще всего используется бензиновый двигатель, у которого в соответствии с известными исследованиями объёмная доля монооксида углерода, получаемого при сгорании топливно-воздушной смеси, колеблется в пределах 0,5-12 %. Для моторблоков характерен расход топлива в пределах от 1,1 до 2,25 кг/час, что указано в таблице.

Различные исследования, а также справочная и научная литература указывают на то, что при сгорании 1 кг бензина в атмосферу сбрасывается не менее 16 кг отработавших газов [25]. Это означает, что при использовании малогабаритной сельскохозяйственной техники количество отработавших газов за один час будет составлять от 17,5 до 36 кг. Соответственно доля монооксида углерода в данных выбросах будет варьироваться от 0,09 до 4,32 кг. При использовании модифицированного поршня в малогабаритной сельскохозяйственной технике можно предположить, что количество выбросов монооксида углерода в среднем будет колебаться в значениях 0,042 до 2,38 кг для самых популярных моделей моторблоков и от 0,12 до 6,06 кг для малогабаритных тракторов с бензиновым ДВС, что указано в таблице.

Таблица. Снижение выбросов, согласно расчётам
Table. Calculation-based reduction of emissions

Марка аппарата	Средний расход топлива, кг/ч	Выбросы отработавших газов, кг/ч	Выбросы СО при проектном поршне, кг/ч	Выбросы при модифицированном поршне, кг/ч
Моторблоки				
МБ23-Б10,0	2,25	36	0,18-4,32	0,09-2,38
МБ23-Н9,0 <i>PRO</i>	1,5	24	0,12-2,88	0,06-1,59
МБ23- <i>YAMAHA (MX250) PRO</i>	1,75	28	0,14-3,36	0,07-1,85
Агат-Л 6,5	1,1	17,5	0,09-2,1	0,042-1,16
Угра НМБ-1Н10	1,5	24	0,12-2,88	0,06-1,59
Ока МБ-1Д1М10	1,1	17,5	0,09-2,1	0,042-1,16
Малогабаритные тракторы				
Belarus 152	3,12	49,9	0,25-5,99	0,12-3,3
Belarus 182	5,74	91,84	0,46-11,02	0,22-6,06

Обсуждение. Полученные значения показывают, что модификация поверхности поршня медно-марганцевым катализатором способна сократить выбросы монооксида углерода в отработавших газах бензинового двигателя малогабаритной сельскохозяйственной техники. В то же время необходимо рассмотреть влияние данного катализатора на такие компоненты вредных выбросов как углеводородные соединения и оксиды азота, что является темой дальнейших исследований. При этом, как отмечалось ранее в исследованиях, увеличивается полнота сгорания топлива, что приводит к снижению затрат на эксплуатацию. Экономический эффект в данном случае будет составлять более 3,5 тысяч рублей в ценах 2025 года при расчёте по методикам Зангиева и Шпилько⁹ и Райзберга¹⁰. Следует также отметить, что данное число изменяется в зависимости от цен на топливо, оплату услуг работников и иных составляющих, поэтому ежегодно нуждается в перерасчёте

Кроме того, необходимо отметить, что, хотя метод внутрицилиндрового катализа и является способом снижения вредных выбросов в отработавших газах, на сегодняшний день его применение возможно только совместно с иными способами снижения выбросов вредных веществ, описанными в начале статьи и подтвержденными в исследованиях, описанных в работах [2-12, 26, 27].

Выводы:

1. Внутрицилиндровый катализ является перспективным направлением для исследований в сфере двигателестроения и применения в сельскохозяйственной технике. Используемые материалы обеспечивают экологическую безопасность рабочего процесса за счёт снижения выбросов монооксида углерода.
2. Расчётные значения конверсии вредных веществ в двигателях малогабаритной сельскохозяйственной техники позволяют сделать вывод, что катализаторы подобного плана, например, медно-марганцевый, существенно улучшают экологические показатели как производимой, так и находящейся в эксплуатации малогабаритной сельскохозяйственной техники.
3. Дальнейшие расчётные и практические исследования необходимо проводить для оценки количества выбросов различных углеводородных соединений и оксидов азота в бензиновых двигателях малогабаритных сельскохозяйственных машин.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Криничная Е. П. Рынок сельскохозяйственной техники в России: современное состояние и тенденции развития // Вестник аграрной науки. 2022. № 6(99). С. 110-118. EDN: LUXILO
2. Дидманидзе О. Н., Иванов С. А., Парлюк Е. П., Хакимов Р. Т. Основные этапы развития тягового электропривода на кафедре тракторов и автомобилей // Чтения академика В. Н. Болтинского: семинар: сб. статей (Москва, 22-24 января 2020 г.). М.: Мегapolis. 2020. С. 51-63. EDN: CJNXTU
3. Дидманидзе О. Н., Афанасьев А. С., Хакимов Р. Т. Метановое число природного газа и его влияние на эффективность рабочего процесса газового двигателя // Записки Горного института. 2021. Т. 251. С. 730-737. EDN: IHICIO

⁹Зангиев, А. А., Шпилько А.В., Левшин А.Г. Эксплуатация машинно-тракторного парка: учебник. М.: Колос-С. 2007. 320 с. EDN: WXUQTH

¹⁰ Райзберг Б. А., Стародубцева Е.Б. Курс экономики: учебник. М.: ИНФРА-М. 2024. 686 с

4. Ведрученко В. Р., Штиб А. В., Глухова М. В., Гусаров А. С. О выборе оборудования и датчиков для испытательного стенда с дизельным двигателем, работающим на топливе разного состава // Энергосбережение и водоподготовка. 2024. № 1(147). С. 48-51. EDN: DIKIPA
5. Лиханов В. А., Лопатин О. П. Улучшение экологических показателей дизельных двигателей применением биотоплива // Двигателестроение. 2018. № 4(274). С. 13-17. EDN: VRCNZA
6. Ложкина О. В., Мальчиков К. Б. Прогнозирование техногенных опасностей, обусловленных выбросами двухколесных мототранспортных средств // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. № 1(69). С. 134-145. EDN: JNRIYZ
7. Farrauto R.J., Deeba M., Alerasool S. Gasoline automobile catalysis and its historical journey to cleaner air // Nature Catalysis. 2019. Vol. 2 (7). P. 603-613. EDN: HLUSKJ
8. Osipov A.R., Borisov V.A., Suprunov G.I., Mukhin V.A., Ivanov A.L., Sigaeva S.S., Anoshkina E.A., Temerev V.L., Hohlov A.A., Tsyul'nikov P.G. Catalytic coatings for improving the environmental safety of internal combustion engines // Procedia Engineering. 2016. Vol. 152. P. 59-66. EDN: XFLJEH
9. Borisov V.A., Sigaeva S.S., Anoshkina E.A., Ivanov A.L., Litvinov P.V., Vedruchenko V.R., Temerev V.L., Arbuzov A.B., Kuznetsov A.A., Mukhin V.A., Suprunov G.I., Chumychko I.A., Shlyapin D.A., Tsyul'nikov P.G. Plasma electrolytic oxide coatings on silumin for oxidation CO // AIP Conference Proceedings. 2017. Vol. 1876 (1), 020001 <https://doi.org/10.1063/1.4998821>
10. Borisov V. A., Litvinov P. V., Kotsiuba I. V., Vedruchenko V. R. Research of catalytic coatings to improve the environmental safety of internal combustion engines // AIP Conference Proceedings. 2023. Vol. 2784 (1), 020009. <https://doi.org/10.1063/5.0140184>. EDN: BEHJLV
11. Литвинов П. В., Борисов В. А., Ведрученко В. Р., Грязнова З. Н. Определение значений коэффициентов каталитической конверсии монооксида углерода и несгоревших углеводородов в модифицированном малоразмерном двухтактном бензиновом двигателе // Двигателестроение. 2023. № 2(292). С. 35-53. <https://doi.org/10.18698/jec.2023.2.35-53> EDN: KRKQBS
12. Джахьяева С. Б., Климова Е. В. Причины загрязнения экосистемы города Астрахани выбросами автомобильного транспорта и пути его снижения // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2022. № 1(60). С. 13-20. https://doi.org/10.52170/1815-9265_2022_60_13 EDN: YMIXYR
13. Балашов, А. М. Влияние частичной теплоизоляции камеры сгорания на основные технико-экономические параметры дизельного двигателя // Тенденции развития науки и образования. 2021. № 74-8. С. 152-154. <https://doi.org/10.18411/lj-06-2021-331> EDN: JOFVVG
14. Dudareva, N. Y. Ivashin P. V., Gallyamova R. F., Tverdokhlebov A. Ya., Krishtal M. M. Structure and thermophysical properties of oxide layer formed by microarc oxidation on AK12D Al–Si Alloy // Metal Science and Heat Treatment. 2021. Vol. 62. P. 701-708. EDN: CQERHU
15. Дзоценидзе Т.Д. Комплексные исследования новых транспортных средств сельскохозяйственного назначения // Вестник КрасГАУ. 2009. № 3. С. 152-161. EDN: KZZSLP
16. Припоров И.Е., Гаврилов Е.В. Анализ малогабаритных транспортных средств для сельского хозяйства // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 3 (89). С. 115-119. EDN: KRRZZM

17. Хакимов Р. Т., Дидманидзе О. Н., Какава Л. О. Энергоэффективность газового двигателя внутреннего сгорания // Известия Международной академии аграрного образования. 2019. № 47. С. 42-47. EDN: LJVCLE
18. Хакимов Р.Т., Огнев О.Г. Использование природного газа в качестве моторного топлива для автотракторной техники: электронный // Инновационное развитие техники и технологий наземного транспорта: Сб. статей III Всеросс. науч.-практ. конф. (Екатеринбург, 3 декабря 2021 г.). Екатеринбург: Издательство Уральского университета. 2022. С. 39-41. EDN: OVNWUP
19. Капустин А.В., Чумаков В.Л., Девянин С.Н., Жоробеков Б.А. Математическое моделирование детонации в двигателях с искровым зажиганием // Агроинженерия. 2023. Т. 25. № 4. С. 43-51. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-4-43-51>
20. Литвинов П.В., Борисов В.А., Ведрученко В.Р., Грязнова З.Н., Коцюба Я.В. Моделирование статических и термических нагрузок поршня двухтактного двигателя, модифицированного каталитическими материалами // Омский научный вестник. 2022. № 4. С. 46-52. <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2022-184-46-52> EDN: CSRLAB
21. Литвинов П.В., Ведрученко В.Р., Борисов В.А., Штиб А.В. Оценка работоспособности двигателя внутреннего сгорания с критериями диагностирования для испытания модифицированных поршней в лабораторных условиях // Омский научный вестник. 2018. № 3. С. 10-13. <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2018-159-10-13> EDN: RTMDCX
22. Мартыненко О. В. Количественная оценка конкурентоспособности сельскохозяйственного трактора на основе расчета удельной стоимости моточаса // Практический маркетинг. 2015. № 11(225). С. 32-38. EDN: UNFHLN
23. Дидманидзе О. Н., Девянин С. Н., Парлюк Е. П. Трактор сельскохозяйственный: вчера, сегодня, завтра // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21, № 1. С. 74-85. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.74-85> EDN: IZNQFF
24. Набиуллин Р. И., Кошкина А. О., Хохлов А. В., Гусаров И. В. Влияние качества моторных топлив на токсичность отработавших газов ДВС // Современная техника и технологии. 2015. № 1(41). С. 23-26. EDN: TMPEVX
25. Дубровин, И., Дубровин Е., Гусак А. Экономика логистики: сколько «рублей» выбрасывает выхлопная труба автомобиля, или что препятствует увеличению автотранспортных перевозок // Логистика. 2018. № 10(143). С. 38-43. EDN: VKJBWO
26. Дударева Н.Ю., Ситдилов В.М. Снижение токсичности отработавших газов двигателя внутреннего сгорания с помощью керамического покрытия на деталях камеры сгорания. // Двигателестроение. 2023. № 3 (293). С. 61-70. <https://doi.org/10.18698/jec.2023.3.61-70> EDN: HSGZEP
27. Морунков, А. Н., Тимохин С. В., Рыблов М. В. Снижение выбросов вредных веществ с отработавшими газами тракторных дизелей при технологической обкатке // Технический сервис машин. 2024. Т. 62. № 4. С. 40-47. <https://doi.org/10.22314/2618-8287-2024-62-4-40-47> – EDN: VLWJSM
28. Дударева Н.Ю., Кальщиков Р.В., Мусин Н.Х., Рябова Д.А. Исследование влияния микродугового окисления на износостойкость гильзы цилиндра ДВС из алюминиевого сплава // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 9(80). С. 63-70. EDN: RCJIQH
29. Дударева Н.Ю., Мусин Н.Х., Кальщиков Р.В., Шехтман С.Р., Ахмедзянов Д.А., Кишалов А.Е. Исследование износостойкости МДО-покрытий, сформированных в силикатно-

щелочном электролите на алюминиевом сплаве АК4-1 // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. 2017. Т. 21. № 3(77). С. 12-18. EDN: ZGPYTZ

30. Chavdarov A. V. Denisov V.A. Developing technology of creating wear-resistant ceramic coating for internal combustion engine cylinder sleeve // Nexa Revista Científica. 2021. Vol. 34(4). P. 1420-1430. <https://doi.org/10.5377/nexo.v34i04.12689> EDN: JOCWHG

REFERENCES

1. Krinichnaya E. P. Agricultural machinery market in Russia: current state and development trends. Vestnik agrarnoy nauki = Bulletin of Agrarian Science. 2022;6(99):110-118. (In Russ.) EDN: LUXILO

2. Didmanidze O. N., Ivanov S. A., Parluk E. P., Khakimov R. T. Main stages of development of traction electric drive at the department of tractors and automobiles. In: Readings of Academician V. N. Boltinsky: seminar: collection of papers (Moscow, January 22-24, 2020). Moscow: Megapolis. 2020: 51-63. (In Russ.) EDN: CJNXTU

3. Didmanidze O. N., Afanasev A. S., Khakimov R. T. Natural gas methane number and its influence on the gas engine working process efficiency. Zapiski Gornogo instituta = Journal of Mining Institute. 2021; 251:730-737. (In Russ.) EDN: IHICIO

4. Vedruchenko V. R. Stib A. V., Glukhova M. V., Gusarov A. S. On the selection of equipment and sensors for a test bench with a diesel engine running on fuel of different composition. Energoberezhenie i vodopodgotovka = Energy Saving and Water Treatment. 2024;1(147): 48-51. (In Russ.) EDN: DIKIPA

5. Likhanov V.A., Lopatin O.P. Biofuel as a means to improve diesel engine performance. Dvigatelistroenie = Engines Construction. 2018; 4:13-17 (In Russ.) EDN: VRCNZA

6. Lozhkina O.V., Malchikov K.B. Forecasting technospheric hazards caused by emissions of two-wheeled motorized vehicles. Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of Technosphere Risk Management. 2024;1 (69): 134-145. (In Russ.) EDN: JNRIYZ

7. Farrauto R.J., Deeba M., Alerasool S. Gasoline automobile catalysis and its historical journey to cleaner air. Nature Catalysis. 2019;2 (7):603-613. (In Eng.) EDN: HLUSKJ

8. Osipov A.R., Borisov V.A., Suprunov G.I., Mukhin V.A., Ivanov A.L., Sigaeva S.S., Anoshkina E.A., Temerev V.L., Hohlov A.A., Tsyru'nikov P.G. Catalytic coatings for improving the environmental safety of internal combustion engines. Procedia Engineering. 2016;152: 59-66. (In Eng.) EDN: XFLJEH

9. Borisov V.A., Sigaeva S.S., Anoshkina E.A., Ivanov A.L., Litvinov P.V., Vedruchenko V.R., Temerev V.L., Arbuzov A.B., Kuznetsov A.A., Mukhin V.A., Suprunov G.I., Chumychko I.A., Shlyapin D.A., Tsyru'nikov P.G. Plasma electrolytic oxide coatings on silumin for oxidation CO. AIP Conference Proceedings. 2017;1876 (1): 020001(In Eng.) <https://doi.org/10.1063/1.4998821>

10. Borisov V. A., Litvinov P. V., Kotsiuba I. V., Vedruchenko V. R. Research of catalytic coatings to improve the environmental safety of internal combustion engines. AIP Conference Proceedings. 2023; 2784 (1): 020009. (In Eng.) EDN: BEHJLV

11. Litvinov P.V., Borisov V.A., Vedruchenko V.R., Gryaznova Z.N. Determination of the catalytic conversion coefficients of carbon monoxide and unburned hydrocarbons in the modified small-sized two-stroke gasoline engine. Dvigatelistroenie = Engines Construction. 2023; 2: 35-53. (In Russ.).. EDN: KRKQBS

12. Dzhakhyaeva S. B., Klimova E. V. Pollution problem of the Astrakhan region ecosystem by emissions from road transport and ways to reduce it. Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo

universiteta putei soobshcheniya = The Siberian Transport University Bulletin. 2022;1(60):13-20. (In Russ.). https://doi.org/10.52170/1815-9265_2022_60_13 EDN: YMIXYR

13. Balashov A. M. Influence of partial thermal insulation of the combustion chamber on the main technical and economic parameters of a diesel engine. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya = Trends in Science and Education Development* 2021; 74-8:152-154. (In Russ.) EDN: JOFVVG

14. Dudareva, N. Y. Ivashin P. V., Gallyamova R. F., Tverdokhlebov A. Ya., Krishtal M. M. Structure and thermophysical properties of oxide layer formed by microarc oxidation on AK12D Al–Si Alloy. *Metal Science and Heat Treatment*. 2021; 62:701-708. (In Eng.) EDN: CQERHU

15. Dzotsenidze T. D. Complex research of the new means of transport in agriculture. *Vestnik KrasGAU = Bulletin of KSAU*. 2009;3 (30):152-161. (In Russ.) EDN: KZZSLP

16. Priporov I.E., Gavrilov E.V. Analysis of small-sized vehicles for agriculture. *Izvestiya OGAU = Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021; 89(3): 115-119. (In Russ.). EDN: KRRZZM

17. Khakimov R. T., Didmanidze O. N., Kakava L. O. Energy efficiency of gas internal combustion engine. *Izvestiya Mezhdunarodnoi akademii agrarnogo obrazovaniya = Izvestiya International Academy of Agrarian Education*. 2019; 47: 42-47. (In Russ.) EDN: LJVCLE

18. Khakimov R.T., Ognev O.G. Use of natural gas as motor fuel for automotive equipment. In: *Innovative Development of Land Transport Equipment and Technologies: Proc. III All-Russian Sci. Prac. Conf. (Yekaterinburg, December 3, 2021)*. Yekaterinburg: Ural University Press. 2022: 39-41. (In Russ.). EDN: OVNWUP

19. Kapustin A.V., Chumakov V.L., Devyanin S.N., Zhorobekov B.A. Mathematical modeling of engine detonation in spark ignition engines. *Agroinzheneriya = Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023;25(4): 43-51. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-4-43-51>

20. Litvinov P.V., Borisov V.A., Vedruchenko V.R., Gryaznova Z.N., Kotsyba I.V. Simulation of finished and thermal stocks of two-stroke engine piston modified with catalytic material. *Omskii nauchnyi vestnik = Omsk Scientific Bulletin*. 2022; 4:46-52. (In Russ.) <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2022-184-46-52> EDN: CSRLAB

21. Litvinov P.V., Vedruchenko V.R., Borisov V.A., Shtib A.V. The evaluation of serviceability of internal combustion engine with diagnostic criteria for testing modified pistons in laboratory conditions. *Omskii nauchnyi vestnik = Omsk Scientific Bulletin*. 2018: 3: 10-13. (In Russ.) <https://doi.org/10.25206/1813-8225-2018-159-10-13> EDN: RTMDCX

22. Martinenko O. V. Quantitative assessment of competitiveness of agricultural tractors on the basis of calculation of cost of work's hour. *Practical marketing*. 2015; 11(225): 32-38. (In Russ.) EDN: UNFHLN

23. Didmanidze O.N., Devyanin S.N., Parlyuk Ye. P. Past, present, future of agricultural tractors. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2020; 21(1): 74-85. (In Russ.) <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1> EDN: IZNQFF

24. Nabiullin R. I., Koshkina A. O., Khokhlov A. V., Gusarov I. V. Influence of the quality of motor fuels on exhaust emissions of internal combustion engine. *Modern technics and technologies*. 2015;1(41):23-26.(In Russ.) EDN: TMPEVX

25. Dubrovin I., Dubrovin E., Gusak A. Logistics economics: how many "rubles" does a car's tail pipe emission or what restricts the increase in road transportation. *Logistika = Logistics Journal*. 2018;10(143):38-43. (In Russ.) EDN: VKJBWO

26. Dudareva N.Y., Sitdikov V.M. Reducing toxicity in the internal combustion engine exhaust gases by using ceramic coating on the combustion chamber components. *Dvigatelistroenie =*

Engines Construction, 2023;3 (293): 61-70. (In Russ.) <https://doi.org/10.18698/jec.2023.3.61-70> EDN: HSGZEP

27. Morunkov A. N., Timohin S. V., Rybllov M. V. Reducing emissions of harmful substances with exhaust gases from tractor diesels during the technological running-in. Tekhnicheskii servis mashin = Machinery Technical Service. 2024;62 (4): 40-47. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2618-8287-2024-62-4-40-47> EDN: VLWJSM

28. Dudareva N. Yu., Kalschikov R. V., Musin N.Kh., Ryabova D. A. Studying microarc oxidation effect on aluminum alloy ice cylinder sleeve wear resistance. Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State Technical University. 2013;9 (80): 63-70. (In Russ.) EDN: RCJIQH

29. Dudareva N.Yu., Musin N.Kh., Kalshchikov R.V., Shechtman S.R., Akhmedzyanov D.A., Kishalov A.E. Investigation of wear-resistance of MDO-coatings formed in silicate-alkaline electrolyte on aluminum alloy AK4-1. Vestnik Ufimskogo gosudarstvennogo aviatsionnogo tekhnicheskogo universiteta = Vestnik of Ufa State Aviation Technical University. 2017; 21-3 (77):12-18 (In Russ.) EDN: ZGPYTZ

30. Chavdarov A. V. Denisov V.A. Developing technology of creating wear-resistant ceramic coating for internal combustion engine cylinder sleeve. Nexa Revista Científica. 2021;34 (4):1420-1430. (In Eng.) <https://doi.org/10.5377/nexo.v34i04.12689> EDN: JOCWHG

Об авторах	About the authors
Литвинов Павел Васильевич Старший преподаватель кафедры автомобилей, тракторов и технического сервиса, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Петербургское шоссе, д. 2, Пушкин, Санкт-Петербург, 196601, Россия p_vasilich55@mail.ru; ORCID 0000-0002-4411-155X	Pavel V. Litvinov Senior lecturer of the Department of Automobiles, Tractors and Technical Service, Saint Petersburg State Agrarian University, Peterburgskoje Shosse, 2, Pushkin, Saint Petersburg, 196601, Russia p_vasilich55@mail.ru; ORCID 0000-0002-4411-155X
Заявленный вклад автора Автор выполнил все функции проекта	Author's contribution Single author article - the author fulfilled all the functions in the project
Конфликт интересов Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов и несёт ответственность за плагиат	Conflict of interests The author declares no conflict of interests and bears responsibility for plagiarism
Статья поступила в редакцию: 26.05.2025	Received: 26.05.2025
Одобрена после рецензирования: 03.10.2025	Approved after reviewing: 03.10.2025
Принята к публикации: 11.11.2025	Accepted for publication: 11.11.2025

УВЕЛИЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОЙ МОЩНОСТИ С КОМБИНИРОВАННЫМ НАДДУВОМ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Алексей Сергеевич Саночкин^{1✉}, Андрей Евгениевич Свистула², Максим Эдуардович
Брякотин³, Геннадий Валериевич Медведев⁴

^{1, 2, 3} Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
Барнаул, Алтайский край, Россия

⁴ Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург,
Россия

^{1✉} asanochkin96@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-5579-0489>

² svistula_ae@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-7596-3165>

³ maxbr@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-9485-7150>

⁴ genatswaly@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3685-7332>

Аннотация. В данной статье рассматривается увеличение эффективности дизельного двигателя постоянной мощности с комбинированным наддувом, применяемого в качестве силового агрегата в сельхозмашинах. Показаны преимущества двигателя постоянной мощности. Проанализирована работа дизельного двигателя с газотурбинным наддувом по скоростной характеристике, выделена проблемная область – переход с регуляторной ветви на корректорную и обратно, рассмотрены негативные явления, происходящие в данной области, заключающиеся в существенном снижении коэффициента избытка воздуха вплоть до значений ниже критического. Описано негативное воздействие снижения коэффициента избытка воздуха ниже критического значения на показатели двигателя. Сделан вывод о том, что для решения проблемы снижения коэффициента избытка воздуха необходимо управление воздухом наддувом двигателя, и что для данной цели возможно применение комбинированного наддува. Дана краткая характеристика газодинамического наддува и комбинированного наддува. В статье для двигателя постоянной мощности 6ЧН13/14 представлены результаты расчета оптимального, обеспечивающего коэффициент приспособляемости $K=1,4$ массового часового расхода воздуха по скоростной характеристике, проектный расчет длин индивидуальных настроенных трубопроводов для рабочего диапазона частот вращения коленчатого вала. Дано обоснование применения системы газодинамического наддува с объединенными настроенными трубопроводами для данного двигателя постоянной мощности. Представлен анализ результатов испытаний двигателя постоянной мощности 6ЧН13/14 с комбинированным наддувом, и описано сложное поведение системы газодинамического наддува с объединенными настроенными трубопроводами при различных частотах вращения коленчатого вала (по скоростной характеристике). На режиме максимального крутящего момента достигнут рост расхода воздуха на 13,5% и снижение расхода воздуха на 4,3% на номинальной частоте вращения. Отмечено снижение расхода топлива на 4-5 г/кВт·ч и увеличение максимального крутящего момента на 10%. В заключении сделан вывод о целесообразности и перспективности применения комбинированного наддува для двигателя постоянной мощности, применяемого в сельхозмашинах.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, двигатель постоянной мощности, комбинированный наддув, газодинамический наддув, дизельный двигатель, настроенные трубопроводы

Для цитирования: Саночкин А.С., Свистула А.Е., Брякотин М.Э., Медведев Г.В. Увеличение эффективности двигателя постоянной мощности с комбинированным наддувом для сельскохозяйственной техники // АгроЭкоИнженерия. 2025. № 4 (125). С. 99-112 <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-4125-112-130>

Research article

Universal Decimal Code 621.43

INCREASING THE EFFICIENCY OF A CONSTANT-POWER ENGINE WITH COMBINED BOOST FOR AGRICULTURAL MACHINERY

Alexey S. Sanochkin^{1✉}, Andrey E. Svistula², Maxim E. Braykotin³, Gennady V. Medvedev⁴

^{1, 2, 3} Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia

⁴ Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Russia

^{1✉} asanochkin96@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-5579-0489>

² svistula_ae@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-7596-3165>

³ maxbr@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0007-9485-7150>

⁴ genatswaly@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3685-7332>

Abstract. This article discusses how to increase the efficiency of a constant-power diesel engine with combined boost used as a power unit in farm machines. The article shows the advantages of constant-power engines. The article analyses the operation of a gas turbine supercharged diesel engine in terms of speed characteristic and identifies a problem area. That is the transition from the regulatory branch to the corrective branch and vice versa. The negative phenomena occurring in this area consist in a significant decrease in the excess air coefficient down to values below critical. This has a negative impact on the engine performance. To address this problem, the control over the engine's air supply is needed, with the combined boost being a possible solution. The article gives a brief description of a gas dynamic boost and a combined boost. The calculation results of the optimal $K=1.4$ mass hourly air flow rate for a 6CHN13/14 constant power engine and a design calculation of the lengths of individually tuned pipelines for the operating frequency range of the crankshaft are presented. The article justifies the use of a gas dynamic boost system with united tuned pipelines for this particular constant-power engine. The article analyses the test results of a 6CHN13/14 constant power engine with combined boost and describes the complex behavior of a gas dynamic boost system with united tuned pipelines at different crankshaft rotation frequencies (in terms of speed characteristic). According to the study outcomes, at maximum torque, the air consumption increased by 13.5% and decreased by 4.3% at rated speed. The fuel consumption decreased by 4-5 g/kWh and the maximum torque increased by 10%. The study conclusion was the expediency and prospects for agricultural application of combined boost.

Keywords: internal combustion engine, constant-power engine, combined boost, gas dynamic boost, diesel engine, tuned pipelines

For citation: Sanochkin A.S, Svistula A.E., Braykotin M.E., Medvedev G.V. Increasing the efficiency of a constant-power engine with combined boost for agricultural machinery. *AgroEcoEngineering*. 2025; 4(125): 99-112 (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-4125-112-130>

Введение. К тракторной силовой установке предъявляются следующие требования:

- силовая установка должна обеспечивать мощность, поддерживающую через трансмиссию тяговое усилие и скорость движения, обусловленные той технологической операцией, которая выполняется в данный момент времени;
- силовая установка должна работать с максимально возможной экономичностью;
- переход между скоростными режимами должен занимать минимально возможный промежуток времени;
- силовая установка должна работать с минимально возможными выбросами вредных веществ в составе отработавших газов.

Анализируя работу дизельного двигателя по скоростной характеристике, большое внимание уделяют области, соответствующей переходу с регуляторной ветви на корректорную и обратно. Выраженные колебания частоты вращения коленчатого вала двигателя сопровождаются систематическими переходами между регуляторной и корректорной ветвями [1]. По причине нелинейности в данной области перехода, колебания угловой скорости коленчатого вала двигателя вызывают значительное недоиспользование мощности (до 30%) [2]. Корректорная ветвь, теоретически, предназначена для преодоления кратковременных перегрузок, но в некоторых работах отмечается, что доля времени работы тракторного дизельного двигателя на корректорной ветви достигает до 80%. При этом именно на корректорной ветви наблюдается наибольшее снижение показателей дизельного двигателя с газотурбинным наддувом, что вызвано снижением качества протекания процесса сгорания по причине уменьшения коэффициента избытка воздуха вплоть до критического значения данного коэффициента и значений ниже критического. Данное снижение вызвано увеличением подачи топлива при работе на корректоре. Снижение коэффициента избытка воздуха приводит к росту недогорания топлива, ухудшению показателей вредных выбросов в отработавших газах, снижению показателей рабочего процесса, росту теплонапряженности деталей двигателя (по причине роста средней температуры цикла).

Двигатель постоянной мощности (ДПМ), теоретически – это двигатель внутреннего сгорания, имеющий постоянную мощность в рабочем диапазоне частоты вращения коленчатого вала и круто возрастающий крутящий момент при падении частоты вращения по мере роста нагрузки [3].

Двигатель, имеющий постоянную мощность в рабочем диапазоне частот вращения коленчатого вала, оптимален для различных установок сельскохозяйственного назначения, так как это позволяет более полно использовать мощность двигателя практически при любых условиях работы [4].

Применение двигателей постоянной мощности в составе сельскохозяйственных машинных агрегатов является перспективным направлением повышения эффективности использования ресурсов. При этом достигается повышение эксплуатационной мощности и производительности машинного агрегата, уменьшение расхода топлива на единицу выполненной работы.

В большинстве случаев ДПМ создаются на базе дизелей серийного производства с газотурбинным наддувом [5].

Концепция ДПМ позволила оптимизировать регулирующие свойства дизельного двигателя и экономические и эффективные показатели агрегата в целом. Такой эффект достигается, отчасти, благодаря тому, что данная концепция позволяет более полно использовать корректорный участок характеристики. Для реализации ДПМ нужно соответствующим образом корректировать цикловую подачу топлива [6, 7] и расход воздуха.

При этом особенности протекания процесса сгорания при работе тракторного дизельного двигателя на корректорной ветви в случае использования ДПМ также присутствуют.

Для решения проблемы снижения коэффициента избытка воздуха необходимо регулировать расход воздуха двигателем при данных условиях работы.

Для управления воздухоснабжением возможно применение газодинамического наддува совместно с газотурбинным наддувом. Такой вид наддува (газодинамический наддув совместно с газотурбинным наддувом) носит название «комбинированный» наддув.

В ходе экспериментального исследования комбинированного наддува не выявлено негативного влияния газодинамического наддува на газотурбинный наддув. Однако применение газодинамического наддува позволяет повысить расход воздуха двигателем на тех режимах, где наблюдаются низкие значения этого показателя, а именно, на режимах максимального крутящего момента на корректорном участке скоростной характеристики [3, 8].

Газодинамический наддув – это вид безагрегатного наддува, основанный на волновых явлениях, протекающих во впускной магистрали двигателя.

Для реализации газодинамического наддува подбираются впускные трубопроводы определенных длины и диаметра. Настройка системы газодинамического наддува производится на определенную частоту вращения коленчатого вала. Чаще всего настройку производят подбором длины трубопроводов. Общая тенденция изменения настройки газодинамического наддува при изменении длины трубопроводов такова: при увеличении длины трубопроводов происходит смещение настройки газодинамического наддува в сторону снижения частоты вращения коленчатого вала, а при уменьшении длины трубопроводов, напротив, настройка газодинамического наддува смещается в сторону увеличения частоты вращения коленчатого вала двигателя.

Трубопроводы системы газодинамического наддува называют «настроенными трубопроводами».

Реализация системы газодинамического наддува возможна посредством двух наиболее распространенных схем: схемы с индивидуальными настроенными трубопроводами и схемы с объединенными настроенными трубопроводами [3].

В системе с индивидуальными настроенными трубопроводами к каждому цилиндру двигателя подводится индивидуальный настроенный трубопровод, соединяющийся свободным концом с общей емкостью (ресивером).

В системе с объединенными настроенными трубопроводами несколько цилиндров двигателя посредством трубопроводов объединяются в один общий настроенный трубопровод. Далее настроенный трубопровод соединяется с ресивером, с которым аналогично соединяются другие группы цилиндров. Для успешной реализации данной

системы требуется, чтобы цилиндры, объединенные в одну группу, имели неперекрывающиеся и равномерные такты впуска.

Наиболее исследованными являются системы с индивидуальными настроенными трубопроводами ввиду того, что данный тип систем проще поддается анализу. Это обусловлено тем, что, в отличие от систем с объединенными настроенными трубопроводами, волновые явления, протекающие в трубопроводах систем с индивидуальными настроенными трубопроводами, не оказывают влияния друг на друга, что дает возможность получить более точную волновую картину процесса.

Системы газодинамического наддува бывают нерегулируемые (нерегулируемые настроенные впускные коллекторы) и с изменением геометрии. Нерегулируемые настроенные впускные коллекторы настраиваются на одну определенную частоту вращения коленчатого вала. В системах с изменением геометрии применяются технические решения, позволяющие изменять геометрические параметры настроенных трубопроводов, тем самым позволяя производить настройку системы газодинамического наддува на несколько скоростных режимов работы двигателя (чаще всего два или три). Также существуют системы с плавной регулировкой длины трубопроводов [9, 10].

Стоит отметить перспективность применения газодинамического наддува на двигателях, используемых в качестве силового агрегата дизель-генератора. Вариантов применения в таком случае несколько. Первый вариант - система работает постоянно, трубопроводы нерегулируемые (данные двигатели работают на одной частоте вращения коленчатого вала, чаще всего 1500 мин^{-1}), обеспечивается прибавка расхода воздуха двигателем. Может применяться как самостоятельно, так и в составе комбинированного наддува. Второй вариант – система работает в составе комбинированного наддува, но функционирует не постоянно (применяются отключающие устройства), а только в момент большого наброса нагрузки на агрегат, что приводит к резкому кратковременному падению коэффициента избытка воздуха и явлениям, аналогичным переходу на корректорную ветвь скоростной характеристики, описанному выше [8].

Известные мировые производители (Honda, Volkswagen, BMW, Mitsubishi и т.д.) уже несколько десятилетий успешно применяют системы газодинамического наддува на своих двигателях. Среди отечественных предприятий можно отметить применение системы газодинамического наддува на двигателях производства АО «АВТОВАЗ» и исследования системы газодинамического наддува АО «Барнаултрансмаш» [11, 12].

К достоинствам систем газодинамического наддува можно отнести следующее:

- простота конструкции (кроме систем с плавно регулируемой длиной трубопроводов);
- отсутствие необходимости в обслуживании;
- возможность значительно повысить наполнение в рамках определенного скоростного режима, что в некоторых случаях может способствовать улучшению характеристики кривой крутящего момента;
- возможность снизить удельный расход топлива, не потеряв в наполнении.

К недостаткам систем газодинамического наддува можно отнести следующее:

- большие габаритные размеры;
- настройка системы на определенный скоростной режим;
- возможное снижение наполнения на каких-либо скоростных режимах, отличных от того, на который настроена система;
- сложность систем с изменяемой геометрией.

Основным недостатком систем газодинамического наддува является то, что зачастую (особенно при настройках на низкие частоты вращения коленчатого вала) настроенные трубопроводы получаются довольно большой длины, что усложняет компоновку системы в условиях дефицита пространства в области двигателя. Настроенные трубопроводы систем с объединенными настроенными трубопроводами получаются несколько меньшей длины, чем трубопроводы систем с индивидуальными настроенными трубопроводами.

Для решения проблемы компоновки системы газодинамического наддува применяют различные решения, например, навивка настроенных трубопроводов вокруг ресивера, что позволяет получить «рулонную» компоновку, сокращающую габариты системы.

Для V-образной конструкции двигателя возможно использование перекрещивающихся трубопроводов от обоих рядов цилиндров, то есть ресиверы каждого ряда располагаются на противоположном ряде цилиндров.

Цель исследования – повышение эффективности двигателя постоянной мощности для сельхозмашин совершенствованием воздухообеспечения посредством применения комбинированного наддува.

Материалы и методы. Исследования включают расчетно-теоретические методы, основанные на известных и широко апробированных зависимостях теории поршневых ДВС, газо- и термодинамики, математического моделирования динамических систем, стандартные и оригинальные методы стендовых испытаний ДВС. Скоростные и нагрузочные характеристики были получены и обработаны на основании ГОСТ 10150-2014, ГОСТ 10448-2014 и методики Д. Д. Матиевского [13]. Критерием эффективности решений являлось обеспечение заданного коэффициента приспособляемости при обеспечении эффективности силовой установки.

Результаты. Рассматривается ДПМ на базе тракторного дизельного двигателя Д-461-10 (6ЧН13/14).

Результаты расчета оптимального для данного ДПМ и обеспечивающего коэффициент приспособляемости $K=1,4$ массового часового расхода воздуха по скоростной характеристике в графическом виде представлены на рис. 1. Расчет производился с использованием методики, приведенной в работе [14].

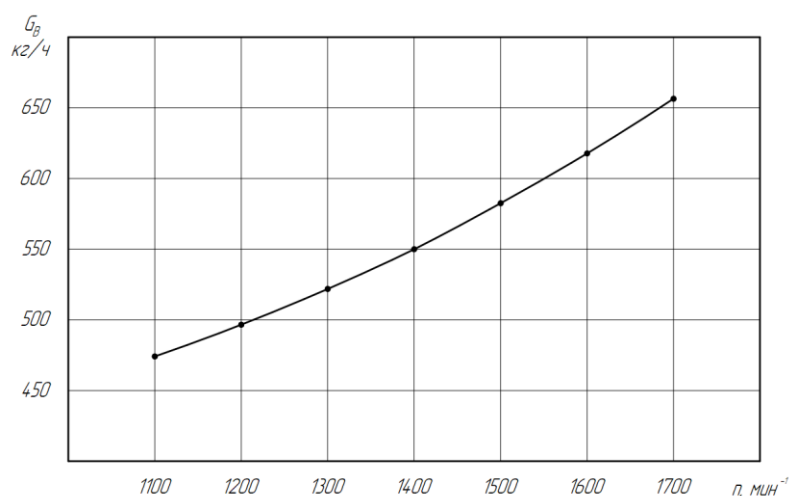


Рис. 1. Оптимальное для ДПМ 6ЧН13/14 с коэффициентом приспособляемости $K=1,4$ изменение часового массового расхода воздуха по скоростной характеристике

Fig. 1. Optimal variation in the hourly mass air flow rate in terms of speed characteristic for a 6CHN13/14 constant power engine with an adaptability coefficient of $K = 1.4$

Результаты расчета ориентировочных длин индивидуальных настроенных трубопроводов с внутренним диаметром $d=51$ мм по формуле, предложенной Ю.А. Гришиным [15], представлены в таблице. Расчетная схема приведена на рис. 2.

Расчет производился для частот вращения коленчатого вала двигателя от 1100 мин^{-1} до 1700 мин^{-1} с шагом 100 мин^{-1} . L – длина трубопровода с учетом длины впускного канала в головке блока цилиндров (ГБЦ), $L_{тр}$ – длина трубопровода без учета длины впускного канала в головке блока цилиндров.

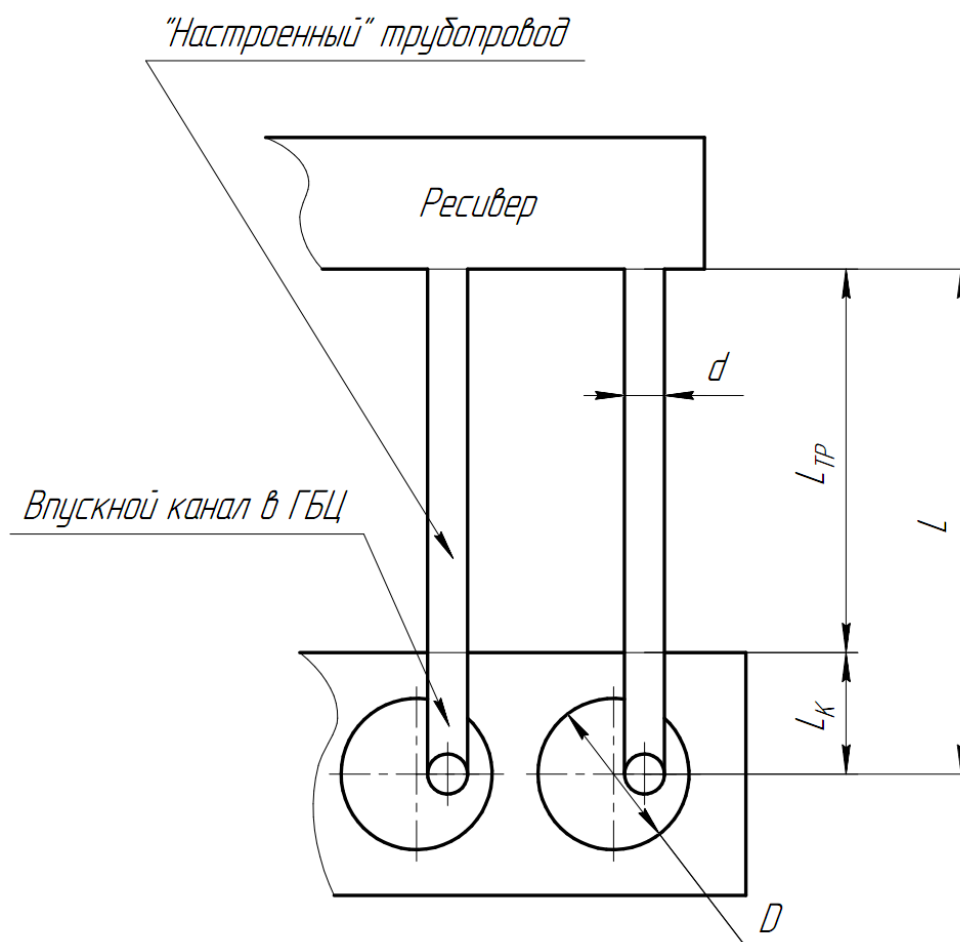


Рис.2. Расчетная схема для индивидуальных настроенных трубопроводов
Fig.2. Calculation scheme for individually tuned pipelines

Таблица. Результаты расчета ориентировочных длин настроенных трубопроводов
Table. Calculation results of the approximate lengths of tuned pipelines

Частота вращения $n, \text{ мин}^{-1}$	$L, \text{ м}$	$L_{тр}, \text{ м}$
1100	2,156	2,013
1200	1,977	1,834
1300	1,825	1,682
1400	1,694	1,551

1500	1,581	1,438
1600	1,482	1,339
1700	1,395	1,252

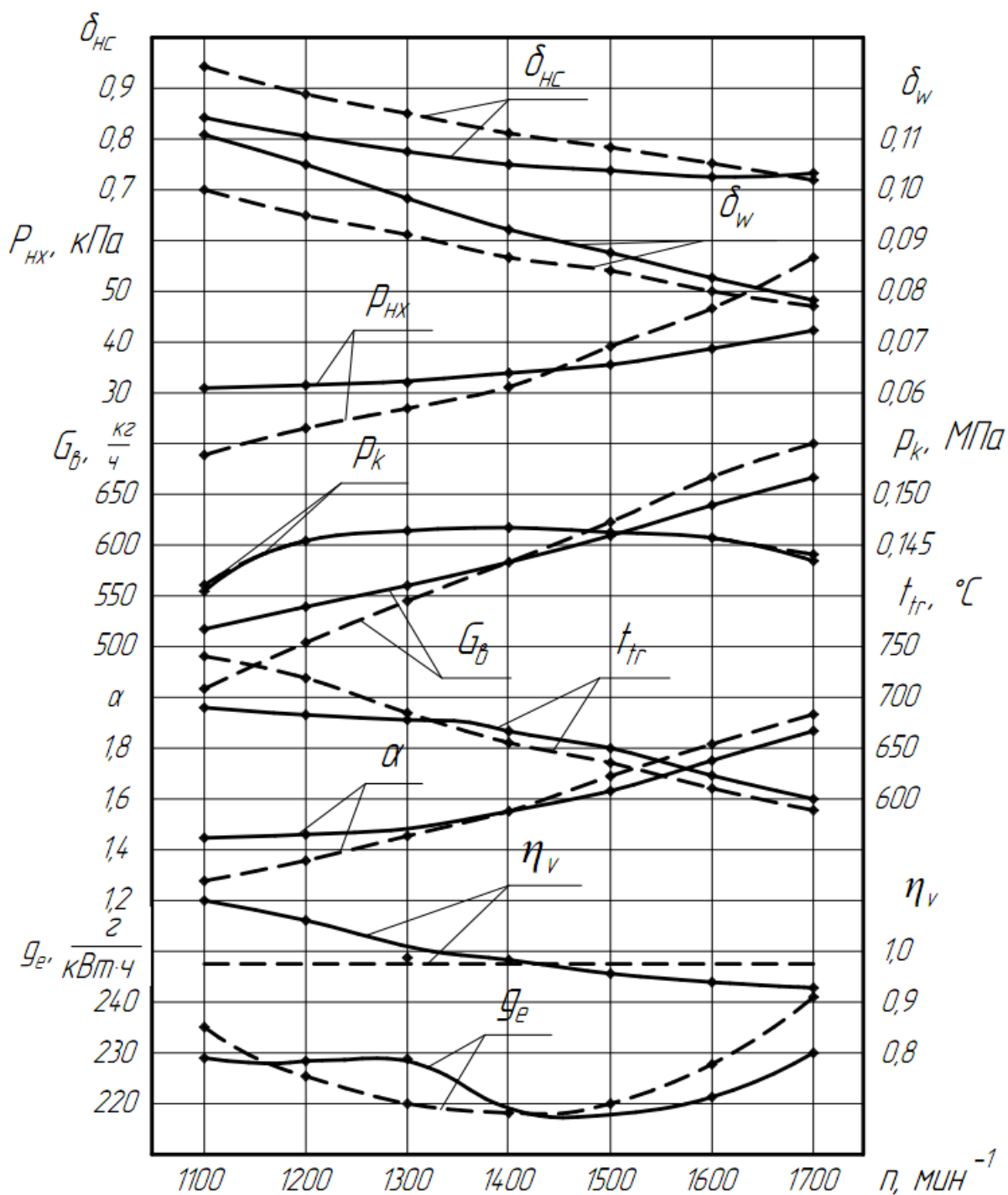
Ввиду того, что ориентировочная длина настроенных индивидуальных трубопроводов весьма значительна и составляет от 1,834 м до 2,013 м, что неизбежно ведет к серьезным проблемам с компоновкой, целесообразнее рассмотреть применение схемы с объединенными настроенными трубопроводами. Аргументы в пользу применения системы с объединенными настроенными трубопроводами следующие:

- настроенные трубопроводы при такой схеме получатся несколько меньшей длины, но следует заметить, что значительного снижения длины трубопроводов ожидать не стоит;
- данный двигатель имеет число цилиндров, кратное трем, что позволяет использовать данную систему, так как в таком случае можно объединить цилиндры в группы, соответствующие требованиям по чередованию тактов впуска;
- применение данного типа системы распространено в схемах комбинированного наддува;
- сложное поведение системы при разных частотах вращения коленчатого вала может позволить получить двойной эффект: повышение расхода воздуха в зоне максимального крутящего момента и снижение расхода воздуха в зоне номинальной частоты вращения коленчатого вала.

Авторами статьи на кафедре Двигатели внутреннего сгорания АлтГТУ им. И.И. Ползунова проводились исследования [3, 8] комбинированного наддува на ДПМ 6ЧН13/14 на базе тракторного дизельного двигателя Д-461-10. Использовалась схема с объединенными настроенными трубопроводами. Цилиндры объединялись в 2 группы (1, 2, 3 цилиндры и 4, 5, 6 цилиндры) посредством двух коллекторов, изготовленных из труб с внутренним диаметром 51 мм. В объединенных цилиндрах чередование тактов впуска происходит равномерно (через 240° п.к.в.). Один конец каждого из объединяющих коллекторов выполнен заглушенным, а к открытому концу через дюритное соединение подсоединялись настроенные трубопроводы того же внутреннего диаметра. Для компоновки на двигателе настроенные трубопроводы выполнены с поворотом на 180° . Исследования проводились для трех длин настроенных трубопроводов: $\Delta L=1000, 1500$ и 1900 мм. Свободным концом настроенные трубопроводы соединялись с общим ресивером объемом 50 литров. Настроенные трубопроводы соединялись с ресивером с противоположных сторон емкости. Ресивер соединялся с нагнетающим патрубком турбокомпрессора посредством патрубка, перпендикулярного оси ресивера. По полученным данным, оптимальная длина настроенных трубопроводов с настройкой на режим максимального крутящего момента составила $\Delta L=1900$ мм.

На рисунке 3 представлена скоростная характеристика ДПМ 6ЧН13/14 с серийной впускной системой и с настроенной впускной системой. На рисунке 4 представлена нагрузочная характеристика ДПМ 6ЧН13/14 при $n=1100$ мин⁻¹ с серийной впускной системой и с настроенной впускной системой, на рис. 5 представлена нагрузочная характеристика ДПМ 6ЧН13/14 при $n=1700$ мин⁻¹ с серийной впускной системой и с настроенной впускной системой. На рис. 3, 4 и 5 использованы следующие обозначения: $2A$ – двойная амплитуда колебаний во впускном коллекторе, t_r, t_{rr} – температура отработавших газов перед турбиной, $P_{нх}$ – среднее давление насосных потерь, G_v и G_t – расход воздуха и топлива, g_e – удельный эффективный расход топлива, φ'_2 – фазовое положение волны давления, p_k – давление во впускном коллекторе после компрессора, α – коэффициент избытка воздуха, η_v –

коэффициент наполнения, δ_{nc} – коэффициент несвоевременности ввода тепла, δ_w – коэффициент, учитывающий неиспользование тепла вследствие теплообмена [14], P_e –



среднее эффективное давление.

Рис. 3. Скоростная характеристика ДПМ 6ЧН13/14 [8]

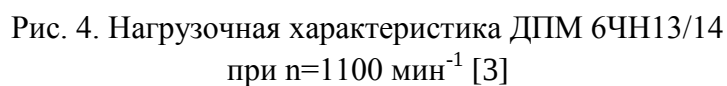
----- – серийная впускная система,

— – настроенная впускная система с $\Delta L = 1900$ мм

Fig.3. Speed characteristic of 6CHN13/14 constant power engine

----- – commercial intake system

— – tuned intake system with $\Delta L = 1900$ mm



— — настроенная впускная система с $\Delta L=1900$ мм

— — tuned intake system with $\Delta L=1900$ mm

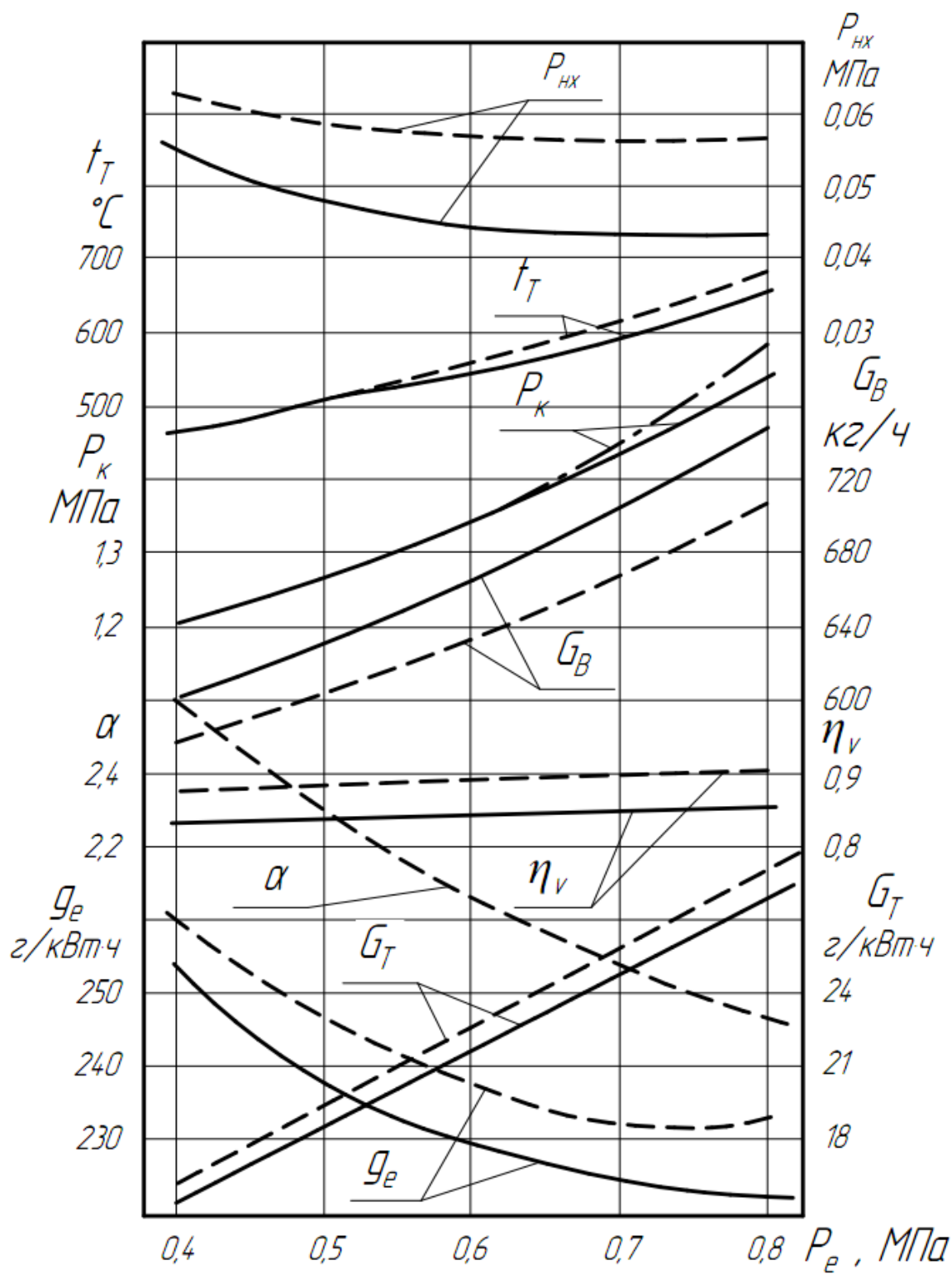


Рис. 5. Нагрузочная характеристика ДПМ 6ЧН13/14
при $n=1700 \text{ мин}^{-1}$

----- — серийная впускная система,

— — настроенная впускная система с $\Delta L=1900 \text{ мм}$

Fig.5. Load characteristic of 6CHN13/14 constant power engine at $n=1700 \text{ мин}^{-1}$

----- — commercial intake system

— — tuned intake system with $\Delta L=1900 \text{ мм}$

Обсуждение. Анализ результатов расчета оптимального для рассматриваемого ДПМ и обеспечивающего коэффициент приспособляемости $K=1,4$ массового часового расхода воздуха по скоростной характеристике показал, что систему газодинамического наддува целесообразно применить при частоте вращения коленчатого вала, соответствующей максимальному крутящему моменту ($n=1100-1200 \text{ мин}^{-1}$). Это обусловлено тем, что поддержание минимально допустимого коэффициента избытка воздуха при применении газотурбинного наддува на данной частоте вращения коленчатого вала наиболее проблематично. Для дизеля данной конструкции минимально допустимым является коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1,4$. В расчете оптимального для данного ДПМ и обеспечивающего коэффициент приспособляемости $K=1,4$ массового часового расхода воздуха по скоростной характеристике использован коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1,45$ для создания минимального запаса до критического значения. Также желательно снизить расход воздуха на режиме номинальной мощности, ввиду его избыточности у базового двигателя, что позволит снизить насосные потери на номинальном режиме.

Соответственно интерес представляют трубопроводы, настроенные на частоту вращения коленчатого вала $n=1100-1200 \text{ мин}^{-1}$.

Проведение расчета ориентировочных длин индивидуальных настроенных трубопроводов позволило оценить приблизительные длины применяемых трубопроводов. Отчасти это позволило также оценить длину трубопроводов системы с объединенными настроенными трубопроводами (хотя и она получается несколько меньше).

В результате испытаний наблюдалось сложное поведение системы газодинамического наддува при различных частотах вращения коленчатого вала, представляющее собой разные типы настроек, условно названные следующим образом: «резонансная» настройка, настройка на «максимальное наполнение», «зарезонансная» настройка.

При «резонансной» настройке наблюдается: максимальная амплитуда колебаний давления во впускном коллекторе и цилиндре двигателя; высокие насосные потери; наименьшая экономичность по скоростной характеристике; рост наполнения двигателя воздухом относительно серийной системы впуска, но потенциальный максимум наполнения не достигается.

При настройке на «максимальное наполнение»: амплитуда колебаний давления во впускной системе и цилиндре двигателя ниже относительно «резонансной» настройки на 25-30%; насосные потери значительны, но ниже, чем при «резонансной» настройке; экономичность при такой настройке не хуже серийного варианта, а при некоторых условиях лучше; отмечается наибольший рост наполнения двигателя воздухом; ввиду значительного увеличения расхода воздуха снижается температура отработавших газов на $50 - 60^\circ \text{C}$.

При «зарезонансной» настройке: амплитуда колебаний давления во впускном коллекторе и цилиндре снижена в 2-2,5 раза относительно «резонансной» настройки; снижение насосных потерь в 1,5-2 раза; наилучшая топливная экономичность по сравнению с серийным вариантом (на $5 - 8 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$); снижение расхода воздуха относительно серийного варианта.

В итоге, наблюдается повышение расхода воздуха на режиме максимального крутящего момента на 13,5% и снижение на режиме номинальной частоты вращения на 4,3%, коэффициент наполнения представляет собой кривую, изменяющуюся от 1,0 при

$n=1100 \text{ мин}^{-1}$ до 0,85-0,9 при $n=1700 \text{ мин}^{-1}$. Такой характер изменения коэффициента наполнения обеспечивает менее выраженное снижение коэффициента избытка воздуха на частоте максимального крутящего момента. Настройка на «максимальное наполнение» соответствует частоте вращения коленчатого вала $n=1000 \text{ мин}^{-1}$, «резонансная» настройка – частоте $n=1250 \text{ мин}^{-1}$, «зарезонансная» настройка – частоте $n=1700 \text{ мин}^{-1}$. При настройке на «максимальное наполнение» наблюдается существенный рост насосных потерь ($\Delta p_{\text{нх}}=15-20 \text{ кПа}$) при нагрузке $P_e < 0,97 \text{ МПа}$, приводящий к росту расхода топлива до $5 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$ по сравнению с серийным вариантом. При нагрузке $P_e > 0,97 \text{ МПа}$ наблюдается снижение расхода топлива на $4-5 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$, вызванное тем, что рост индикаторного КПД компенсирует рост насосных потерь. Индикаторный расход топлива на данном режиме снизился на $4-5 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$. Для минимизации роста расхода топлива при нагрузке $P_e < 0,97 \text{ МПа}$ возможно применение устройства, отключающего систему газодинамического наддува при низких значениях нагрузки (посредством соединения объединенных групп трубопроводов).

По мере роста частоты вращения коленчатого вала, разница между значениями насосных потерь относительно серийного двигателя снижается, достигая равного значения при частоте вращения $n=1450 \text{ мин}^{-1}$. Далее значения насосных потерь ДПМ с комбинированным наддувом снижаются относительно серийного ДПМ, причем дальше, по мере роста частоты вращения коленчатого вала, разница увеличивается. На режиме «зарезонансной» настройки (режим номинальной частоты вращения) расход воздуха относительно серийного ДПМ снижен без ущерба для эффективных показателей двигателя, т. к. значения коэффициента избытка воздуха серийного ДПМ на данном режиме несколько велики, наблюдается снижение расхода топлива на $5-8 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$. Максимальный крутящий момент больше на 10%, чем у серийного ДПМ, и достигается при частоте вращения коленчатого вала $n=1100 \text{ мин}^{-1}$ [8].

Выводы. Применение ДПМ для сельскохозяйственных машинных агрегатов целесообразно ввиду возможности получить лучшие экономические и эффективные показатели агрегата, но для большей эффективности применения ДПМ необходимо улучшать регулирование расхода воздуха двигателем. Для данной цели возможно применение комбинированного наддува.

Выполнен расчет оптимального для ДПМ 6ЧН13/14 и обеспечивающего коэффициент приспособляемости $K=1,4$ массового часового расхода воздуха по скоростной характеристике и рассчитаны рекомендуемые длины индивидуальных настроенных трубопроводов системы газодинамического наддува. Рекомендовано применение системы газодинамического наддува с объединенными настроенными трубопроводами.

На основании результатов проведенных исследований применения комбинированного наддува (газотурбинный наддув совместно с системой газодинамического наддува с объединенными настроенными трубопроводами) на ДПМ 6ЧН13/14 с целью улучшения регулирования расхода воздуха можно отметить следующее:

- достигнуто увеличение расхода воздуха на режиме максимального крутящего момента на 13,5 % и снижение расхода воздуха на номинальной частоте вращения коленчатого вала на 4,3 %, что позволяет получить оптимальные значения коэффициента избытка воздуха по скоростной характеристике;
- при максимальных нагрузках $P_e > 0,97 \text{ МПа}$ снижен расход топлива на $4-5 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$, обеспеченный тем, что рост индикаторного КПД компенсирует рост насосных потерь;
- достигнуто снижение оценочного расхода топлива на $5-8 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$;

- максимальный крутящий момент увеличен на 10% по сравнению с ДПМ с серийной выпускной системой, что предполагает рост качества технологических операций и производительности сельхозмашин.

Применение комбинированного наддува с целью повышения показателей ДПМ, используемого в составе сельхозмашин, целесообразно и перспективно. Перспективно применение газодинамического наддува на дизельных двигателях в составе дизель-генераторов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Нехорошев Д.Д., Попов А.Ю., Коновалов П.В., Нехорошев Д.А. Моторно-трансмиссионная установка с двигателем постоянной мощности и пневмогидравлической планетарной муфтой сцепления // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 2(54). С. 382-389. <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2019-01-45>
2. Божко А.В., Завражнов А. И. Об эффективности применения двигателя постоянной мощности на тракторе // Тенденции развития технических средств и технологий в АПК: Матер. межд. науч.-практ. конф. (Воронеж, 25 февраля 2022 г.) Воронеж: Воронежский ГАУ. 2022. Часть I. С. 467-470. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_48564578_74851968.pdf
3. Саночкин А.С., Свистула А.Е., Брякотин М.Э., Медведев Г.В. Обеспечение расхода воздуха энергетической установки постоянной мощности посредством газодинамического наддува // Известия международной академии аграрного образования. 2024. №72. С. 50-55. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67877615>
4. Славуцкий В.М., Курапин А.В., Аксенов А.С., Карпов А.А. Реализация режима постоянной мощности в транспортных дизелях // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 1(49). С. 342-350. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_37094755_31233498.pdf
5. Спиридонов С.В., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Козьмин С.Ф., Романов С.В. Применение двигателей постоянной мощности на трелевочных тракторах и их влияние на тяговые показатели // Сб. статей по матер. науч.-техн. конф. Института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 г. (Санкт-Петербург, 10 апреля 2021 г.) / Отв. редактор Е.Г. Хитров. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет. 2021. С. 691-700. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_47599392_40258767.pdf
6. Брюховецкий А.Н., Захаров С.А., Дмитриев А.А. Теоретическое обоснование целесообразности перевода тракторных двигателей внутреннего сгорания в режим постоянной мощности // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: Матер. межд. науч.-практ. конф. (Воронеж, 25 ноября 2022 г.) Воронеж: Воронежский ГАУ. 2022. С. 107-113. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_50383204_59788339.pdf
7. Славуцкий В.М., Курапин А.В., Харсов З.Х., Лукшин К.В. Регулирование режима постоянной мощности в тракторном дизеле // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2019. № 2(54). С. 330-338. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_41374353_11673715.pdf
8. Саночкин А.С., Свистула А.Е., Брякотин М.Э., Медведев Г.В. Газодинамический наддув двигателей внутреннего сгорания, используемых в агропромышленном комплексе //

Известия международной академии аграрного образования. 2023. №67. С. 109-116. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53990915>

9. Барышников С.И., Костюченков А.Н., Зеленцов А.А. Конструктивные улучшения ресивера воздушной системы динамического наддува поршневого двигателя, адаптированного для авиационного применения // Вестник Московского авиационного института. 2022. Т. 29. № 4. С. 161-171. <https://doi.org/10.34759/vst-2022-4-161-171>

10. Кухаренок Г.М., Предко А.В. Расчетные исследования динамического наддува дизеля MMZ-4D // Автотракторостроение и автомобильный транспорт: Сб. научных трудов Межд. науч.-практ. конф. (Минск, 24 мая 2022 г.) Минск: Белорусский национальный технический университет. 2022. Том 1. С. 110-114. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_49771249_79747750.pdf

11. Саночкин А.С., Свистула А.Е., Брякотин М.Э. Анализ и перспективы применения систем газодинамического наддува двигателей внутреннего сгорания // Известия международной академии аграрного образования. 2024. №72. С. 107-111. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67877625>

12. Гришин Ю.А., Семенчукова В.С. Использование нестационарных газодинамических функций для численного моделирования волновых процессов в поршневом двигателе // Двигателестроение. 2022. № 4(290). С. 28-39. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_50065763_98855721.pdf

13. Матиевский Д. Д. Метод анализа индикаторного КПД рабочего цикла двигателя // Двигателестроение. 1984. № 6. С. 7-11. URL: <http://rdiesel.ru/DVIGATELESTROYENIYE/YEAR/1984/r6-1984.html?ysclid=m8oceql3l6761741593>

14. Матиевский Г. Д., Любимов А.Н. Исследование внешней скоростной характеристики дизеля для анализа показателей работы на режимах постоянной мощности // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. 2010. № 2. С. 260-267. URL: <https://www.ssuwt.ru/category/12-2010-god>

15. Гришин Ю. А. Анализ динамического наддува и повышение экономичности дизелей // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2011. №. 10. С. 46-51. <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2011-10>

REFERENCES

1. Nekhoroshev D.D., Popov A.J., Kononov P.V., Nekhoroshev D. A. Motor - transmission installation with a constant power engine and pneumatic-hydraulic planetary clutch // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie = Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education. 2019; 2(54): 382-389. (In Russ.) <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2019-01-45>

2. Bozhko A.V., Zavrazhnov A.I. On the effectiveness of using a constant power engine on a tractor. In: Development Trends of Technical Means and Technologies in the Agro-Industrial Complex. Proc. Int. Sci. Prac. Conf. (Voronezh, 25 February 2022). Voronezh: Voronezh State Agrarian University. 2022;1:467-470. (In Russ.) Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_48564578_74851968.pdf

3. Sanochkin A.S., Svistula A.E., Bryakotin M.E., Medvedev G.V. Ensuring the air flow rate of a constant-power power plant by means of gas dynamic boost. Izvestiya Mezhdunarodnoi akademii agrarnogo obrazovaniya = Izvestiya International Academy of Agrarian Education. 2024;72:50-55 (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67877615>

4. Slavutskii V.M., Kurapin A.V., Aksyonov A.S., Karpov A.A. Implementation of the permanent power mode in transport diesels. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* = Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education. 2018; 1(49): 342-350. (In Russ.) <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2018-01-342-350>
5. Spiridonov S.V., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L., Kozmin S.F., Romanov S.V. The use of constant-power engines on skidding tractors and their effect on traction performance. In: Proc. Sci. Tech. Conf. of the Institute of Technological Machines and Forest Transport based on the results of scientific research in 2020 (Saint Petersburg, April 10, 2021) / E.G. Khitrov (ed.) Saint Petersburg: Saint Petersburg State Forest Technical University. 2021; 691-700. (In Russ.) URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_47599392_40258767.pdf
6. Briukhovetskii A.N. Zakharov S.A., Dmitriev A.A. Theoretical justification of the feasibility of converting tractor internal combustion engines to a constant power mode. In: Science and Education at the Present Stage of Development: Experience, Problems and Ways to Solve Them. Proc. Int. Sci. Prac. Conf. (Voronezh, 25 November 2022). Voronezh: Voronezh State Agrarian University. 2022; 107-113. (In Russ.) Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_50383204_59788339.pdf
7. Slavutsky V.M., Kurapin A.V., Kharsov Z.H., Lukshin K.V. Regulation of the constant power mode in tractor diesel. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* = Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education. 2019; 2(54): 330-338. (In Russ.) <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2019-02-39>
8. Sanochkin A.S., Svistula A.E., Bryakotin M.E., Medvedev G.V. Gas dynamic boost of internal combustion engines used in the agro-industrial complex. *Izvestiya mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya* = *Izvestiya International Academy of Agrarian Education*. 2023;67:109-116 (In Russ.) Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53990915>
9. Baryshnikov S.I. Kostyuchenkova L.N. Zelentsov A.A. The intake manifold structural improvements of the dynamic supercharging air system of the piston engine adapted for aviation application. *Vestnik Moskovskogo aviacionnogo instituta* = *Aerospace MAI Journal*. 2022;29(4):161-171 (In Russ.) <https://doi.org/10.34759/vst-2022-4-161-171>
10. Kukharonak H., Predko A. Calculated analysis of dynamic boost of MMZ-4D diesel engine. In: Automotive and Tractor Manufacturing and Automobile Transport. Proc. Int. Sci. Prac. Conf. (Minsk, Belarus, 24 May 2022). Minsk: Belarusian National Technical University. 2022;1: 110-114. (In Russ.) Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_49771249_79747750.pdf
11. Sanochkin A.S., Svistula A.E., Bryakotin M.E. Analysis and prospects of application of gas dynamic boost systems for internal combustion engines. *Izvestiya mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya* = *Izvestiya International Academy of Agrarian Education*. 2024;72:107-111 (In Russ.) Available at: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67877625>
12. Grishin Yu.A., Semenchukov V.S. Use of non-stationary gas-dynamic functions in numerical simulation of the wave processes in a piston engine. *Dvigatelistroeniye* = *Engines Construction*. 2022;4(290):28-39 (In Russ.) Available at: https://elibrary.ru/download/elibrary_50065763_98855721.pdf
13. Matievsky D.D. The method of analyzing the indicator efficiency of the engine operating cycle *Dvigatelistroeniye* = *Engines Construction*. 1984; 6: 7-11 (In Russ.) URL:

<http://rdiesel.ru/DVIGATELESTROYENIYE/YEAR/1984/r6-1984.html?ysclid=m8oceql3l6761741593>

14. Matievskij G. D., Ljubimov A. N. Using an external high-speed performance for the analysis of performance at constant power modes. Nauchnye problemy transporta Sibiri i Dal'nego Vostoka = Scientific problems of transportation in Siberia and the Far East. 2010;2:260-267. (In Russ.) URL: <https://www.ssuwt.ru/category/12-2010-god>

15. Grishin Yu.A. The analysis of inertia supercharging and increase in diesel engines cost-effectiveness. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie = Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building. 2011; 10: 46-51 (In Russ.) <https://doi.org/10.18698/0536-1044-2011-10>

Об авторах	About the authors
Алексей Сергеевич Саночкин, аспирант кафедры «Двигатели внутреннего сгорания», Алтайский государственный университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, Россия. asanochkin96@mail.ru	Alexey S. Sanochkin, postgraduate student, Internal Combustion Engines Department, Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia asanochkin96@mail.ru
Андрей Евгениевич Свистула, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Двигатели внутреннего сгорания», Алтайский государственный университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, Россия. svistula_ae@mail.ru	Andrey E. Svistula, DSc (Engineering), Professor, Head of Internal Combustion Engines Department, Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia svistula_ae@mail.ru
Максим Эдуардович Брякотин, канд. техн. наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой «Двигатели внутреннего сгорания», Алтайский государственный университет им. И.И. Ползунова, г. Барнаул, Россия. maxbr@mail.ru	Maxim E. Braykotin, Cand. Sc. (Engineering), Associate Professor, Deputy Head of Internal Combustion Engines Department, Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia maxbr@mail.ru
Геннадий Валериевич Медведев, д-р техн. наук, профессор кафедры «Энергообеспечение предприятий и электротехнологий», Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Россия genatswaly@mail.ru	Gennady V. Medvedev, DSc (Engineering), Professor, Professor of the Department “Energy Supply of Enterprises and Electrical Technologies”, Saint Petersburg State Agrarian University, Saint Petersburg, Russia genatswaly@mail.ru
Заявленный вклад авторов А.С. Саночкин – обработка результатов испытаний, выполнение расчетов, анализ результатов исследования А.Е. Свистула – руководство исследованием, анализ результатов исследования	Authors' contribution A.S. Sanochkin – processing of test results, performing calculations, analyzing research results A.E. Svistula – research management, analysis of research results

М.Э. Брякотин – проведение испытаний, обработка результатов испытаний, выполнение расчетов, анализ и внедрение полученных результатов Г.В. Медведев – анализ и внедрение результатов исследования	M.E. Braykotin – conducting tests, processing of test results, performing calculations, analyzing and implementing the results obtained G.V. Medvedev – analyzing and implementing the results obtained
Конфликт интересов Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов	Conflict of interest The authors declare that there is no conflict of interest
Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи к публикации	The authors have read and approved the final version of the manuscript for publication
Статья поступила в редакцию: 14.10.2025	Received: 14.10.2025
Одобрена после рецензирования: 10.11.2025	Approved after reviewing: 10.11.2025
Принята к публикации: 11.11.2025	Accepted for publication: 11.11.2025

РАЗДЕЛ 3. ЭКОЛОГИЯ И ТЕХНОЛОГИИ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

Научная статья

УДК 631.86

DOI 10.24412/2713-2641-2025-4125-130-140

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ БИОФЕРМЕНТАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ КАМЕРНОГО ТИПА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ПОБОЧНОЙ ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА

Александр Сергеевич Романов

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства
(ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

alarm.romanoff@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-6604-5735>

Аннотация. Проблема переработки органических отходов является актуальной для малых сельскохозяйственных предприятий и фермерских хозяйств. В них, в основном, используются технологии пассивного компостирования и длительного выдерживания. Эти технологии имеют следующие недостатки: длительный срок переработки (до 12 месяцев), большие потери питательных веществ, повышенный риск утечек загрязненных стоков в период дождей и весенних паводков. Наиболее простыми интенсивными технологиями для небольшого хозяйства, позволяющими сократить сроки переработки, являются активное компостирование и переработка органических отходов в автономном биоферментаторе камерного типа. Цель работы – расчет экономической эффективности внедрения автономной биоферментационной установки камерного типа для переработки органических отходов на животноводческом предприятии. Оценка экономического эффекта заключается в сравнении удельных затрат на переработку навоза по базовой технологии и по предлагаемой технологии. В качестве базовой технологии выбрано активное компостирование, а предлагаемая технология представлена в двух вариантах: технология переработки в автономной биоферментационной установке камерного типа с альтернативным источником энергии и без альтернативного источника энергии. В случае нахождения хозяйства в районе с развитой энергетической инфраструктурой оптимальной технологией для выбранного региона (Ленинградская область) является переработка органических отходов в биоферментационной установке камерного типа с системой автоматизированного управления процессом (без альтернативного источника энергии). Экономический эффект составит 737,1 тыс. руб./год при сроке окупаемости 3,07 года. В случае нахождения хозяйства в отдаленном районе (при индивидуальной оценке стоимости прокладки электрической сети) оптимальной технологией переработки органических отходов является переработка в автономной биоферментационной установке камерного типа с альтернативным источником электроэнергии (солнечные панели). Годовой экономический эффект составит 625,2 тыс. руб. при сроке окупаемости 4,57 года, без учета стоимости прокладки электросетей.

Ключевые слова: экономическая эффективность, технологии переработки, биоферментация, органические отходы, альтернативная энергетика

Для цитирования: Романов А.С. Экономическая эффективность биоферментационной установки камерного типа для переработки побочной продукции

Research article

Universal Decimal Code 631.86

ECONOMIC EFFICIENCY OF A CHAMBER-TYPE FERMENTER FOR PROCESSING ANIMAL BY-PRODUCTS

Alexander S. Romanov

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) –

branch of FSAC VIM, Saint Petersburg, Russia

alarm.romanoff@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0004-6604-5735>

Abstract. Organic waste processing is especially important for small-scale agricultural businesses and private farms. To this end, they mainly use passive composting and long-term storing technologies that have several disadvantages. These are long processing time (up to 12 months), large nutrient loss, and increased risk of contaminated wastewater leakage during the rainy season and spring floods. The simplest intensive technologies for small farms that can reduce processing time are active composting and organic waste fermentation in an autonomous chamber fermenter. The study aimed to calculate the economic efficiency of implementing an autonomous fermentation unit of a chamber type for processing organic waste at a livestock enterprise. The assessment of the economic effect involves comparing the unit costs of manure processing using the basic technology and the proposed technology. The basic technology was an active composting. The proposed technology was in two variants: processing in an autonomous chamber-type fermentation unit with and without an alternative energy source. If the farm is located in an area with a developed energy infrastructure, the optimal technology for the selected region (Leningrad Region) is the processing of organic waste in a chamber-type fermentation unit with an automated process control system (without an alternative energy source). The economic effect will amount to 737.1 thousand rubles per year with a payback period of 3.07 years. If the farm is located in a remote area, the costs of laying the electricity grids should be estimated separately. The optimal organic waste processing technology in this case will be the use of an autonomous chamber-type fermentation unit with an alternative electricity source (solar panels). The annual economic effect will amount to 625.2 thousand rubles with a payback period of 4.57 years, excluding the cost of laying power grids.

Key words: economic efficiency, processing technologies, fermentation, organic waste, alternative energy

For citation: Romanov A.S. Economic efficiency of a chamber-type fermenter for processing animal by-products. *AgroEcoEngineering*. 2025; 4(125): 130-140 (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2025-4125-130-140>

Введение. Проблема переработки органических отходов (навоза, помета), образующихся в результате производственной деятельности малых сельскохозяйственных предприятий и фермерских хозяйств, является актуальной задачей. В настоящий момент в небольших фермерских хозяйствах традиционно используются такие технологии

переработки как пассивное компостирование и длительное выдерживание, которые имеют следующие недостатки: длительный срок переработки (до 12 месяцев), большие потери питательных веществ, повышенный риск утечек загрязненных стоков в дождливый период и во время весенних паводков [1-3]. Одним из инновационных способов переработки органических отходов, позволяющих устранить данные недостатки, является технология биоферментации в автономной установке камерного типа (Патент RU 2804098)¹¹. Применение данной технологии сокращает сроки переработки до 7-9 суток ввиду применения технологических решений, создающих благоприятные условия жизнедеятельности микроорганизмов, участвующих в процессе биоферментации (научно обоснованные параметры системы аэрации), что, в свою очередь, приводит к получению органического удобрения с высокими качественными характеристиками ввиду низких потерь питательных веществ [4].

Более продвинутые технологии, такие как биоферментация в установках барабанного типа и термическая сушка [5, 6], являются дорогостоящими и применяются в основном в сегменте крупных сельскохозяйственных предприятий и агрохолдингов. Наиболее простой для внедрения на небольшом предприятии (хозяйстве) является технология переработки навоза (помета) методом активного компостирования, которая позволит получить на выходе органическое удобрение в сжатые по сравнению с длительным выдерживанием и пассивным компостированием сроки (до 3 месяцев). Ключевым фактором для принятия решения о внедрении конкретной технологии переработки отходов является эколого-экономическая эффективность от внедрения технологии. В основе экономической эффективности применения автономной биоферментационной установки камерного типа лежат снижение капитальных затрат на строительство бетонированной площадки и закупки оборудования для ворошения буртов, снижение эксплуатационных затрат на амортизационные отчисления, отчисления на текущий ремонт и техническое обслуживание оборудования, затраты на горюче-смазочные материалы, а также снижение потерь питательных веществ в органическом удобрении, что позволит получить экономический эффект в виде дополнительного урожая. Экологическая эффективность достигается за счет сохранения азота в удобрении и снижения загрязненных стоков в дождливый период и во время весенних паводков.

Цель работы – расчет экономической эффективности внедрения автономной биоферментационной установки камерного типа для переработки органических отходов на животноводческом предприятии.

Материалы и методы. Расчет эколого-экономической эффективности переработки органических отходов в автономной биоферментационной установке камерного типа выполнен по существующим методикам определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники^{12,13,14} [7]. Расчеты, приведенные ниже,

¹¹Брюханов А.Ю., Васильев Э.В., Романов А.С., Шалавина Е.В., Папушин Э.А. Автономный биоферментатор камерного типа. Патент на изобретение RU 2804098 C1, 26.09.2023. Заявка № 2023110449 от 24.04.2023 URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_54660374_42324197.PDF

¹²ГОСТ 34393-2018 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – М.: Издательство стандартов, 2018. 13 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200161745> (дата обращения 03.09.2025 г.)

проведены для среднестатистического хозяйства Ленинградской области со средним поголовьем 10 условных голов [2], с суточным выходом экскрементов 55 кг в сутки при беспривязном содержании и норме расхода подстилки 5 кг в сутки на голову⁴. Таким образом, всего в год образуется 219 т навоза. Средняя влажность производимого навоза составляет 75 %, плотность навоза – 0,65 т/м³.

Оценка экономического эффекта строится на сравнении удельных затрат на переработку органических отходов по базовой технологии и по предлагаемой технологии. В качестве базового варианта выбрана переработка методом активного компостирования, как наиболее распространенная из существующих интенсивных технологий для внедрения на небольшом предприятии (хозяйстве), которая позволит получить на выходе органическое удобрение в сжатые по сравнению с длительным выдерживанием и пассивным компостированием сроки. Для сравнения выбрана разработанная технология в двух вариантах: технология переработки в автономной биоферментационной установке камерного типа с альтернативным источником энергии и без альтернативного источника энергии.

Время переработки навоза методом активного компостирования принимаем 40 суток при частоте ворошения 3 раза за период переработки⁴. Параметры бетонированной площадки рассчитывались по известной методике [8], при этом учитывались расстояния для совершения маневров трактором (поворот, разворот) 5 м. Ширина бурта 2 м и высота бурта 1,3 м взяты исходя из характеристик применяемого ворошителя буртов ВИК-200¹⁵, производительность которого составляет до 600 м³/ч, работающего в связке с трактором Беларус-82.1.

Время переработки навоза в автономной биоферментационной установке камерного типа производительностью 600 кг/сут принимаем 8 суток⁴. После заполнения камера установки закрывается и начинается процесс биоферментации. Образующийся в последующие сутки навоз накапливается во второй биоферментационной установке. Расчет энергии, вырабатываемой солнечными панелями, рассчитывался с учетом солнечной инсоляции за сутки 0,8 кВт·ч/м² согласно справочным данным¹⁶.

Погрузка и выгрузка навоза осуществляется фронтальным погрузчиком ПКУ-0,8 производительностью 40 т/ч. После переработки осуществляется транспортировка навоза разбрасывателем органических удобрений ПРТ-7А. В качестве энергетического средства выбран трактор Беларус-82.1.

Стоимость капитальных затрат (на технику, строительство бетонированной площадки, оборудование) рассчитана с учетом текущих цен на основании маркетингового анализа открытых источников.

¹³ГОСТ 23730-88 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки универсальных машин и технологических комплексов. М.: Издательство стандартов, 1988. 26 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200010759> (дата обращения 03.09.2025 г.)

¹⁴Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помёта РД-АПК 1.10.15.02-17*: (Изменение № 1). М.: Росинформагротех, 2020. 188 с.

¹⁵Прицепные ворошители компоста серии ВИК [Электронный ресурс] URL: https://iskadaz.ru/voroshiteli_komposta (дата обращения 03.09.2025)

¹⁶Солнечная инсоляция для расчета солнечных батарей [Электронный ресурс] URL: http://net220.ru/poleznye_statii/solnechnaya_radiaciya_tablicy_insolyacii/?ysclid=ltcw3w61ip444546740 (дата обращения 03.09.2025)

Прямые эксплуатационные затраты определялись по формуле:

$$З = З_{пл} + З_{г} + З_{а} + З_{тр} + З_{э}, \quad (1)$$

где $З_{пл}$ – заработная плата рабочих, тыс. руб.;

$З_{г}$ – затраты на горюче-смазочные материалы, тыс. руб.;

$З_{а}$ – затраты на амортизационные отчисления, тыс. руб.;

$З_{тр}$ – отчисления на текущий ремонт и тех. обслуживание, тыс. руб.;

$З_{э}$ – затраты на электроэнергию, тыс. руб.

Заработная плата работников за год рассчитывается исходя из средней месячной оплаты труда в сельском хозяйстве Ленинградской области в 2024 году 80 тысяч рублей (по данным открытых источников) с учетом времени, потраченного на конкретную технологическую операцию (погрузка, ворошение, выгрузка, транспортирование). Затраты на горюче-смазочные материалы рассчитываются исходя из норм расхода и текущих цен на горюче-смазочные материалы для применяемой техники и оборудования по всем технологическим операциям (погрузка, ворошение, выгрузка, транспортирование). Затраты на амортизационные отчисления, отчисления на текущий ремонт и техническое обслуживание рассчитывались на основании действующих норм амортизации, текущего ремонта и технического обслуживания с учетом сроков службы применяемой техники за время выполнения технологических операций (погрузка, ворошение, выгрузка, транспортирование). Затраты на электроэнергию рассчитывались по средней стоимости 1 кВт·ч для малых предприятий и ИП Ленинградской области¹⁷. При расчете удельных показателей на основе исходных данных учитывался годовой выход навоза, который составил 219 т. Экономический эффект от сохранения азота в удобрении выражается в виде увеличения выручки за счет дополнительного урожая (на примере картофеля) с учетом усредненных показателей содержания азота в экскрементах животных 205 г на одну голову в сутки⁴, потерь азота при переработке методом активного компостирования 40 %, потерь азота при переработке в биоферментационной установке камерного типа 30 % [6], нормы внесения азота под картофель 150 кг/га⁴, урожайности картофеля в Ленинградской области 19 т/га¹⁸, цены реализации 50 руб. при себестоимости возделывания и уборки 13 руб. на 1 кг картофеля [9].

Результаты. Результаты расчетов капитальных затрат на переработку навоза методом активного компостирования приведены в таблице 1.

Таблица 1. Капитальные затраты при переработке навоза методом активного компостирования

Table 1. Capital costs of processing manure by active composting

Сооружения, оборудование и технические средства	Цена, тыс. руб.	Количество, шт.	Стоимость, тыс. руб.
Фронтальный погрузчик, ПКУ-0,8	120	1	120
Бетонированная площадка площадью 255	7	1	1785

¹⁷Тарифы на электроэнергию для малых предприятий и ИП [Электронный ресурс] URL: <https://time2save.ru/tarify-na-elektroenergiu-dla-malih-predpriyatiy-i-ip?ysclid=ltcvw6j9jx542817552> (дата обращения 03.09.2025)

¹⁸Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) [Электронный ресурс] URL: <https://www.fedstat.ru>. (дата обращения 03.09.2025)

м ² (15х17 м)	(за 1 м ²)		
Ворошитель буртов ВИК-200	2000	1	2000
Трактор Беларусь-82.1	2500	1	2500
Разбрасыватель органических удобрений ПРТ-7А	1500	1	1500
Итого:			7905

Результаты расчетов капитальных затрат при переработке навоза в автономной биоферментационной установке камерного типа (с альтернативным источником энергии), приведены в таблице 2.

Таблица 2. Капитальные затраты при переработке навоза в автономной биоферментационной установке камерного типа (с альтернативным источником энергии)

Table 2. Capital costs of manure processing in an autonomous chamber-type fermentation unit (with an alternative energy source)

Сооружения, оборудование и технические средства	Цена, тыс. руб.	Количество, шт.	Стоимость, тыс. руб.
Фронтальный погрузчик ПКУ-0,8	120	1	120
Автономная биоферментационная установка камерного типа с полезным объемом камеры 8 м ³	980	2	1960
Оборудование к установке (Солнечные панели, инвертор, АКБ, блок управления, вентиляторы)	450	2	900
Трактор Беларусь-82.1	2500	1	2500
Разбрасыватель органических удобрений ПРТ-7А	1500	1	1500
Итого:			6860

Результаты расчетов капитальных затрат при переработке навоза в автономной биоферментационной установке камерного типа (без альтернативного источника энергии), приведены в таблице 3.

Таблица 3. Капитальные затраты при переработке навоза в биоферментационной установке камерного типа с системой автоматизированного управления процессом (без альтернативного источника энергии)

Table 3. Capital costs of manure processing in a chamber-type fermentation unit with an automated process control system (without an alternative energy source)

Сооружения, оборудование и технические средства	Цена, тыс. руб.	Количество, шт.	Стоимость, тыс. руб.
Фронтальный погрузчик ПКУ-0,8	120	1	120
Автономная биоферментационная	980	2	1960

установка камерного типа с полезным объемом камеры 8 м ³			
Оборудование к установке (блок управления, вентиляторы)	150	2	300
Трактор Беларус-82.1	2500	1	2500
Разбрасыватель органических удобрений ПРТ-7А	1500	1	1500
Итого:			6260

Результаты расчетов капитальных, эксплуатационных затрат, а также сравнительная экономическая оценка рассматриваемых вариантов технологий переработки органических отходов представлены в таблице 4, где базовый вариант – технология активного компостирования с использованием ворошителя буртов; проектируемый вариант 1 – переработка органических отходов в автономной биоферментационной установке камерного типа с альтернативным источником энергии; проектируемый вариант 2 – переработка органических отходов в биоферментационной установке камерного типа с системой автоматизированного управления процессом (без альтернативного источника энергии).

Таблица 4. Сравнительная экономическая оценка рассматриваемых вариантов технологий переработки органических отходов

Table 4. Comparative economic estimation of the considered options for processing organic waste

Показатель	Единицы измерения	Базовый вариант	Проект. вариант 1	Проект. вариант 2
Капитальные затраты	тыс. руб.	7905	6860	6260
Эксплуатационные затраты, в т.ч.	тыс. руб.	556,9	282,4	170,4
амортизационные отчисления;	тыс. руб.	287,7	130,6	70,6
затраты на ТР и ТО;	тыс. руб.	237,8	130,7	70,7
затраты на ГСМ;	тыс. руб.	21,5	14,4	14,4
затраты на электроэнергию;	тыс. руб.	-	-	8,1
заработная плата работников;	тыс. руб.	9,9	6,6	6,6
Удельные эксплуатационные затраты	тыс. руб/т	2,5	1,3	0,8
Экологический эффект	кг азота/год	-	74,8	74,8
Экономический эффект	тыс. руб./год	-	625,2	737,1
Срок окупаемости	лет		4,57	3,07

Обсуждение. Данные расчеты проведены без учета стоимости прокладки электрической сети к удаленным районам. В таком случае оптимальной технологией для

выбранного региона (Ленинградская область) является переработка органических отходов в биоферментационной установке камерного типа с системой автоматизированного управления процессом (без альтернативного источника энергии). Экономический эффект достигается за счет снижения капитальных затрат, эксплуатационных затрат на амортизационные отчисления, на текущий ремонт и техническое обслуживание, на горюче-смазочные материалы. Заработная плата работников снижается за счет сокращения общего времени работы по всем технологическим операциям в год. Удельные эксплуатационные затраты при этом составили 0,8 тыс. руб./т, что на 69,4% меньше в сравнении с технологией активного компостирования. Экологический эффект достигается за счет снижения эмиссии азота и составил 74,8 кг азота/год. Экономический эффект достигается за счет снижения удельных эксплуатационных затрат и получения дополнительного урожая ввиду снижения потерь азота и составит 737,1 тыс. руб./год при сроке окупаемости 3,07 года.

Если хозяйство находится в отдаленном районе на расстоянии более 1 км от общей энергетической системы, стоимость прокладки электрической сети может быть сопоставимой либо быть больше по сравнению со стоимостью солнечной станции без учета последующих затрат на электроэнергию; при удаленности в нескольких сотен километров стоимость прокладки сетей может достигать порядка 60-80 млн. рублей [20]. В таком случае, при индивидуальной оценке стоимости прокладки электрической сети, оптимальной технологией переработки органических отходов является переработка в автономной биоферментационной установке камерного типа с альтернативным источником электроэнергии (солнечные панели). Годовой экономический эффект от такой установки составит 625,2 тыс. рублей при сроке окупаемости 4,57 года, без учета стоимости прокладки электросетей.

Выводы. Проведен расчет эколого-экономической эффективности переработки органических отходов в автономной биоферментационной установке камерного типа в сравнении с технологией активного компостирования с использованием ворошителя буртов. В случае нахождения хозяйства в районе с развитой энергетической инфраструктурой оптимальной технологией для выбранного региона (Ленинградская область) является переработка органических отходов в биоферментационной установке камерного типа с системой автоматизированного управления процессом (без альтернативного источника энергии). Экономический эффект от снижения удельных затрат и получения дополнительного урожая ввиду снижения потерь азота составит 737,1 тыс. рублей в год при сроке окупаемости 3,07 года. В случае нахождения хозяйства в отдаленном районе (при индивидуальной оценке стоимости прокладки электрической сети) оптимальной технологией переработки органических отходов является переработка в автономной биоферментационной установке камерного типа с альтернативным источником электроэнергии (солнечные панели). Годовой экономический эффект составит 625,2 тыс. рублей при сроке окупаемости 4,57 года.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шалавина Е.В., Васильев Э.В., Папушин Э.А. Анализ технологий переработки отходов животноводства в различных природно-климатических условиях России // АгроЭкоИнженерия. 2023. № 3(116). С. 110-124. <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-3116-110-123>

2. Шалавина Е.В., Васильев Э.В., Уваров Р.А. Методы экологически безопасного использования навоза и помета фермерскими хозяйствами в Ленинградской области // *АгроЭкоИнженерия*. 2021. № 3 (108). С. 128-140 <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2021-3108-128-140>
3. Агапкин А.М., Махотина И.А. Переработка сельскохозяйственных отходов: рынок органических удобрений и производство органических пищевых продуктов // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2021; № 3. С. 212-225. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.221>
4. Романов А.С., Васильев Э.В. Аэродинамический расчет системы воздухопроводов автономного биоферментатора камерного типа // *АгроЭкоИнженерия*. 2023. № 2(115). С. 35-45. <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-2115-35-45>
5. Шалавина Е.В., Брюханов А.Ю., Васильев Э.В., Уваров Р.А., Валге А.М. Биоферментация органических отходов свиноводческого комплекса в установке барабанного типа // *Аграрная наука*. 2020. № 6. С. 51-56. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-339-6-51-56>
6. Уваров Р.А. Анализ технологий переработки твердого навоза и помета, адаптированных к условиям Северо-Западного Федерального округа // *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2017. № 93. С. 133-146. EDN: ZXPRYF
7. Шпилько А.В., Драгайцев В.И., Тулапин П.Ф. и др. Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники: монография. М.: ГП УСЗ Минсельхозпрома РФ. 1998. 220 с.
8. Шалавина Е.В., Васильев Э.В., Уваров Р.А., Брюханов А.Ю., Васильева Н.С., Воробьева Е.А. Метод расчета размеров бетонированной площадки при переработке навоза пассивным компостированием // *АгроЭкоИнженерия*. 2020. № 4(105). С. 90-101. <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2020-10269>
9. Заморев А.Г. Анализ аграрной политики в сфере овощеводства в Ленинградской области // *IX Лужские научные чтения. Современное научное знание: теория и практика: Матер. межд. науч. конф. (Санкт-Петербург, 22 мая 2021 г.)* / Отв. ред. Т.В. Седлецкая. СПб.: ЛГУ имени А.С. Пушкина. 2021. С. 361-366.
10. Мамасев П.С, Рябов А.А. Перспективы развития альтернативной энергетики в промышленных и рекреационных районах (на примере Кемеровской области - Кузбасса) // *Московский экономический журнал*. 2022. № 7(10), 29. https://doi.org/10.55186/2413046X_2022_7_10_575

REFERENCES

1. Shalavina E.V., Vasilev E.V., Papushin E.A. Analysis of technologies for processing animal waste in different natural and climatic conditions of Russia. *AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering*. 2023;3(116):110-124. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-3116-110-123>
2. Shalavina E.V., Vasilev E. V., Uvarov R.A. Methods for environmentally safe use of animal/poultry manure on private farms in the Leningrad Region. *AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering*. 2021; 3(108):128-140 (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2021-3108-128-140>

3. Agapkin A.M., Makhotina I.A. Agricultural waste processing: organic fertilizer market and organic food production. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* = Storage and Processing of Farm Products. 2021;3:212-225. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.221>
4. Romanov A.S. Vasiliev E.V. Aerodynamic calculation of an air ducting system for an autonomous chamber-type fermenter. *AgroEkoInzheneriya* = AgroEcoEngineering. 2023;2(115):35-45. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-2115-35-45>
5. Shalavina E.V., Briukhanov A.Yu., Vasilev E.V., Uvarov R.A., Valge A.M. Biofermentation of organic waste from a pig-breeding complex in a drum-type installation *Agrarnaya nauka* = Agrarian Science. 2020; 6:51-56. (In Russ.) <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-339-6-51-56>
6. Uvarov R. A. Survey of solid animal and poultry manure processing technologies adapted to the North-West Federal District conditions. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva* = Technologies, machines and equipment for mechanised crop and livestock production. 2017; 93:133-146. (In Russ.) EDN: ZXPRYF
7. Shpilko A.V., Dragaytsev V.I., Tulapin P.F. et al. Methodology for determining the economic efficiency of technologies and agricultural machinery: monograph. Moscow: GP USZ of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation. 1998. 220 p. (In Russ.)
8. Shalavina E.V., Vasilev E. V., Uvarov R.A., Briukhanov A.Yu., Vasileva N.S., Vorobyeva E.A. Dimensioning of a concreted pad for manure processing by passive composting. *AgroEkoInzheneriya* = AgroEcoEngineering. 2020;4(105):90-101 (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2020-10269>
9. Zamorev A.G. Analysis of agrarian policy in the field of vegetable growing in the Leningrad region. In: IX Luga Scientific Readings. Modern scientific knowledge: theory and practice: Proc. Int. Sci. Conf. (Saint Petersburg, May 22, 2021). (T.V. Sedletskaya (Editor-in-chief). Saint Petersburg: A.S. Pushkin Leningrad State University. 2021: 361-366 (In Russ.)
10. Mamasev P.S., Ryabov V.A. Prospects for the alternative energy development in industrial and recreational areas (on the example of the Kemerovo Region - Kuzbass). *Moskovskii ekonomicheskii zhurnal* = Moscow Economic Journal. 2022; 7(10), 29. (In Russ.) https://doi.org/10.55186/2413046X_2022_7_10_575

Об авторе	About the author
Романов Александр Сергеевич младший научный сотрудник, отдел анализа и прогнозирования экологической устойчивости агроэкосистем, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, 196634 Россия, Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Филътровское ш. 3 alarm.romanoff@yandex.ru ORCID: 0009-0004-6604-5735	Alexander S. Romanov junior researcher, Department of Analysis and Forecasting of Environmental Sustainability of Agroecosystems, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production - branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 196634 Filtrovskoye Shosse, 3, Tiarlevo, Saint Petersburg, Russia alarm.romanoff@yandex.ru ORCID: 0009-0004-6604-5735
Заявленный вклад автора Автор выполнил все функции проект	Author's contribution The author completed all functions in the project

Конфликт интересов Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов	Conflict of interest The author declares no conflict of interests regarding the publication of this paper
Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи к публикации	The author has read and agreed to the published version of the manuscript.
Статья поступила в редакцию: 03.09.2025	Received: 03.09.2025
Одобрена после рецензирования: 29.10.2025	Approved after reviewing: 29.10.2025
Принята к публикации: 11.11.2025	Accepted for publication: 11.11.2025