

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.372:631.95

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-3-65-73>

Перспективные направления и прогноз применения альтернативной энергетики в сельскохозяйственных тракторах

И.А. Старостин^{1✉}, А.В. Ещин², С.А. Давыдова³^{1,2,3} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия¹ starwan@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8890-1107>² eschin-vim@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9368-7758>³ davidova-sa@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1219-3335>

Аннотация. В условиях необходимости снижения уровня выбросов парниковых газов актуальны исследования по выявлению перспективных концептуальных направлений применения альтернативных видов топлива, накопителей и источников энергии в энергетических установках сельскохозяйственных мобильных средств. Анализ публикаций, патентов и экспертных мнений позволил составить долгосрочный прогноз применения альтернативной энергетики в сельскохозяйственных тракторах. При прогнозировании моделировали два сценария развития: базовый и стагнационный. Базовый сценарий предусматривал реализацию планов по полному исключению выбросов парниковых газов в атмосферу, а стагнационный допускал дальнейшее применение преимущественно традиционных источников энергии. По двум сценариям рассчитаны стоимости энергоносителей, накопителей и основных компонентов для применения альтернативной энергии в тракторах на период 2024-2050 гг. С учетом полученных значений рассчитана прогнозная себестоимость моточаса эксплуатации тракторов тяговых классов 1,4; 3 и 5 на дизельном топливе, рапсовом масле, компримированном природном газе, аккумуляторных батареях и водородных топливных элементах на период до 2050 г. Установлено, что в ближайшем будущем экономически целесообразным может стать использование сельскохозяйственных тракторов тяговых классов 1,4; 3 и 5 с двигателями внутреннего сгорания на газомоторном топливе при условии решения проблем размещения газобаллонного оборудования на борту трактора. Перспективными являются исследования, нацеленные на повышение КПД двигателей внутреннего сгорания и снижение выбросов вредных веществ, развитие инфраструктуры передачи и хранения газомоторного топлива на предприятиях. Кроме того, высокий потенциал применения имеют электрические тракторы, и востребованы исследования по созданию электрических трансмиссий с учетом режимов работы техники, совершенствованию накопителей электрической энергии, систем преобразования и управления, созданию инфраструктуры по их зарядке. Также будут интересны исследования по модернизации систем питания двигателей для работы на чистом биотопливе и очистки выхлопных газов от оксидов азота.

Ключевые слова: трактор; стоимость энергоносителей; себестоимость моточаса; топливо; газ; водород; биотопливо; биодизельное топливо; аккумулятор; прогноз применения альтернативной энергетики

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России FGUN-2025-0002.

Для цитирования: Старостин И.А., Ещин А.В., Давыдова С.А. Перспективные направления и прогноз применения альтернативной энергетики в сельскохозяйственных тракторах // Агроинженерия. 2026. Т. 28, № 3. С. 65-73. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-3-65-73>

ORIGINAL ARTICLE

Promising trends and prospects for the use of alternative energy in agricultural tractors

I.A. Starostin¹✉, A.V. Eshchin², S.A. Davydova³

^{1,2,3} Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Moscow, Russia

¹ starwan@yandex.ru✉; <https://orcid.org/0000-0002-8890-1107>

² eschin-vim@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9368-7758>

³ davidova-sa@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1219-3335>

Abstract. The urgent need to reduce greenhouse gas emissions necessitates research into promising conceptual trends in alternative fuels, energy storage systems, and power sources for agricultural mobile machinery. This study presents a long-term forecast for the adoption of alternative energy in agricultural tractors, developed through an analysis of publications, patents, and expert opinions. Two development scenarios were modeled: a baseline scenario, which assumes the full elimination of greenhouse gas emissions in accordance with current policy targets, and a stagnation scenario, which envisions the continued predominance of conventional energy sources. For both scenarios, the costs of energy carriers, storage systems, and key components for alternative energy applications in tractors were estimated for the period from 2024 to 2050. Based on these estimates, the projected cost per motor-hour was calculated for tractors of traction classes 1.4, 3, and 5, operating on diesel fuel, rapeseed oil, compressed natural gas, battery electric systems, and hydrogen fuel cells. The findings indicate that, in the near future, the use of agricultural tractors of traction classes 1.4, 3, and 5 powered by natural gas-fueled internal combustion engines may become economically viable, provided that the challenges associated with integrating gas cylinder equipment onboard the tractor are effectively addressed. Promising research areas include enhancing the efficiency of internal combustion engines, reducing pollutant emissions, and developing infrastructure for the transfer and storage of natural gas at agricultural enterprises. Electric tractors also offer considerable application potential. Further research is needed to develop electric transmissions tailored to specific machinery operating modes, improve energy storage systems, advance power conversion and control technologies, and establish charging infrastructure. Additionally, research on upgrading engine fuel systems for operation on pure biofuels and on exhaust gas aftertreatment for nitrogen oxide reduction remains highly relevant.

Keywords: tractor; energy carrier cost; motor-hour cost; fuel; gas; hydrogen; biofuel; biodiesel; battery; forecast of alternative energy use

Funding. The research was carried out within the framework of the State assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Project No. FGUN-2025-0002).

For citation: Starostin I.A., Eshchin A.V., Davydova S.A. Promising trends and prospects for the use of alternative energy in agricultural tractors. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2026;28(3):65-73. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-3-65-73>

Введение

В соответствии со Стратегией социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г.¹ выбросы парниковых газов к 2050 г. должны быть сокращены на 60% от уровня 2019 г. и на 80% от уровня 1990 г. При этом к 2060 г. возможно достижение углеродной нейтральности экономики, предполагающей равенство производства и поглощения CO₂. В соответствии с перечнем поручений по реализации Послания Президента Российской Федерации Федеральному Со-

бранию Российской Федерации от 29 февраля 2024 г. необходимо обеспечить поэтапное сокращение выбросов опасных загрязняющих веществ к 2036 г. в 2 раза. Принимая во внимание поставленные цели, необходимо определить приоритетные направления развития отечественных сельскохозяйственных мобильных средств с учетом снижения их негативного воздействия на окружающую среду и повышения экономической эффективности сельскохозяйственного производства.

Цель исследований: выявление перспективных концептуальных направлений применения альтернативных видов топлива, накопителей и источников энергии в энергетических установках мобильных средств сельскохозяйственного назначения путем

¹ Стратегия социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г.: утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 1 ноября 2021 г. № 3052-п. URL: <https://base.garant.ru/402994476/>.

анализа тенденций развития и экономической оценки использования сельскохозяйственных тракторов с применением альтернативных источников энергии в долгосрочной перспективе.

Материалы и методы

В качестве перспективных вариантов альтернативных видов топлива, накопителей и источников энергии рассматривали биодизельное топливо (рапсовое масло – РМ) [1-3], сжатый природный газ (КПГ) [4-6], электропривод с питанием от аккумуляторных батарей (АКБ) [7-9] и водородных топливных элементов (ВТЭ) [10, 11].

Прогностическая оценка перспектив использования альтернативных источников энергии в мобильных средствах сельскохозяйственного назначения до 2050 г. выполнена на основе расчета экономической эффективности использования альтернативных видов топлива, накопителей и источников энергии с учетом текущего и прогнозных значений их стоимости в 2030, 2040 и 2050 гг. [12]. При оценке учитывали затраты на энергоноситель (дизельное топливо (ДТ), РМ, КПГ, электрическую энергию (ЭЭ) и водород (H_2)), затраты на амортизацию, техническое обслуживание и ремонт трактора с учетом годовой загрузки, затраты на оплату труда оператора.

В качестве базового варианта рассматривали использование дизельного топлива. Расчеты осуществляли в ценах и по курсу валют 2024 г. без учета инфляции, то есть предполагали, что соотношение стоимостей за рассматриваемые периоды не изменится. Затраты, связанные с формированием, эксплуатацией и обслуживанием соответствующей инфраструктуры, не учитывали.

Расчет прогнозной себестоимости эксплуатации сельскохозяйственных тракторов при использовании в них альтернативных видов топлива, накопителей и источников энергии произведен на основе анализа научных публикаций, размещенных в системе eLibrary, патентов, зарегистрированных в Международной патентной системе (РСТ) и Всемирной организации интеллектуальной собственности (WIPO), и опроса экспертов в области использования альтернативных источников энергии в сельскохозяйственной мобильной энергетике.

Себестоимость моточаса эксплуатации подразумевает совокупные затраты на выполнение работ мобильным средством при номинальной загрузке энергетической установки в течение одного часа.

Результаты и их обсуждение

В процессе изучения публикаций, посвященных использованию смесового топлива, развитию

технологий применения электропривода и источников питания в мобильных средствах сельскохозяйственного назначения [13], выявлены факторы, сдерживающие использование альтернативных видов топлива. Например, в случае применения газомоторного топлива необходимы конструктивная адаптация или переоборудование энергосредств – в частности, установка газобаллонного оборудования [14, 15]. К тому же отсутствие развитой инфраструктуры обслуживания и заправок ограничивает возможности эксплуатации энергосредств на альтернативных видах топлива, что снижает их потребительскую привлекательность [14].

Анализ патентов выявил тенденцию снижения интереса научного сообщества к разработке и совершенствованию двигателей внутреннего сгорания, в том числе работающих на различных видах топлива. При этом отмечается рост интереса к электрическому приводу и применению различных видов накопителей электрической энергии.

Проведенный онлайн-опрос экспертов в области применения альтернативных источников энергии в сельскохозяйственной мобильной энергетике показывает, что респонденты считают наиболее перспективными технологии применения в сельскохозяйственной технике двигателей внутреннего сгорания, работающих на газомоторном топливе, гибридных энергетических установок с механической трансмиссией и накопителями энергии в виде аккумуляторных батарей, двигателей внутреннего сгорания, работающих на биотопливе.

При построении прогноза развития энергетического обеспечения мобильных средств до 2050 г. моделировали два сценария развития: базовый и стагнационный.

Базовый сценарий предполагает, что до 2050 г. сохранится курс большинства развитых стран по полному исключению выбросов парниковых газов в атмосферу (декарбонизация экономики) и, в частности, по запрету транспорта с двигателями внутреннего сгорания. В России и в развивающихся странах сохранится тенденция снижения выбросов парниковых газов. При этом будет допускаться эксплуатация транспорта и других мобильных средств с двигателями внутреннего сгорания. Россия будет развивать безопасную атомную энергетiku и альтернативные источники генерации электрической энергии.

Согласно базовому сценарию в долгосрочной перспективе в России, во-первых, будет снижено потребление дизельного топлива. Предполагается, что стоимость дизельного топлива будет повышаться на фоне роста заложенных в его стоимости издержек по содержанию его производства, инфраструктуры

хранения, транспортировки и заправки, а также под влиянием роста себестоимости добычи нефти. Во-вторых, планируется увеличение производства и потребления биодизеля на основе рапсового масла с незначительным ростом стоимости в долгосрочной перспективе. При работе двигателей на биодизельном топливе в атмосферу выделяется CO₂, который ранее был поглощен растениями из атмосферы. В результате образуется замкнутый цикл без внесения в атмосферу углерода из ископаемых соединений углеводородов. В России есть потенциал увеличения производства и широкого распространения в долгосрочной перспективе биодизельного топлива [4, 5]. В-третьих, будут поддерживаться научные исследования и разработки в области повышения эффективности источников и накопителей энергии [16]. В-четвертых, продолжится технологическое совершенствование существующих технологий для генерации и хранения электрической энергии. В-пятых, планируется расширенное производство и массовое распространение ветрогенераторов и солнечных панелей, накопителей энергии (в частности, Li-ion аккумуляторных батарей) [17], водородных топливных элементов, технологий хранения водорода, систем автоматизированного электропривода для транспорта. В-шестых, сохранится тенденция дальнейшего развития электрической и газовой инфраструктуры снабжения промышленных объектов и населенных пунктов. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 29 августа 2025 г. № 2366-р утверждена Концепция развития рынка газомоторного топлива в Российской Федерации на период до 2035 года, базовый сценарий которой предусматривает рост объема потребления газомоторного топлива техникой и оборудованием для сельского хозяйства до 0,17 млрд куб. м к 2035 г. В-седьмых,

будет активно развиваться инфраструктура газозаправочных станций, зарядных станций и водородных заправок. Производить «голубой водород» для экспорта и внутреннего потребления будут преимущественно с помощью методов парового риформинга с улавливанием диоксида углерода и электролиза.

На основании базового сценария рассчитаны значения стоимости энергоносителей и накопителей энергии для сельскохозяйственных мобильных средств в России на период 2024-2050 гг. (рис. 1).

Стагнационный сценарий развития энергетического обеспечения мобильных средств предполагает, что до 2050 г. в большинстве стран будут пересмотрены планы по полному исключению выбросов парниковых газов транспортными средствами. В частности, в России сохранится использование традиционных источников энергии на фоне роста генерации электрической энергии, в том числе от ветряков и солнечных панелей, атомных и гидроэлектростанций. Согласно стагнационному сценарию в долгосрочной перспективе, во-первых, стоимость дизельного топлива будет повышаться при сохранении ее объемов и повышении себестоимости добычи нефти. Во-вторых, планируется рост потребления природного газа и электрической энергии как промышленностью, так и транспортом. Предполагаются дальнейшее обновление и развитие электрической и газовой инфраструктуры снабжения промышленных объектов и населенных пунктов, создание инфраструктуры газозаправочных станций в крупных городах и на автомагистралях. Стоимость электрической энергии и природного газа на фоне роста их потребления в условиях развития и модернизации существующей инфраструктуры будет повышаться. В-третьих, возможны постепенное формирование

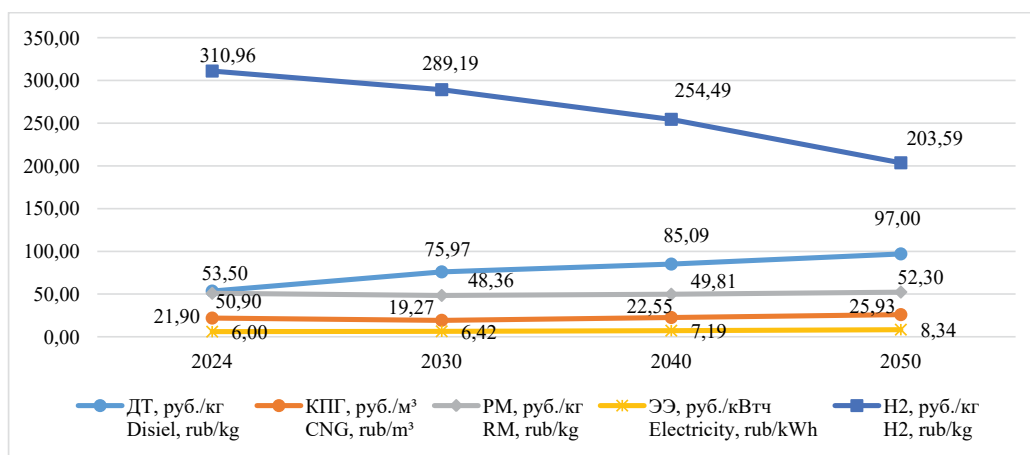


Рис. 1. Прогнозная стоимость энергоносителей и накопителей энергии в России до 2050 г. согласно базовому сценарию

Fig. 1. Projected cost of energy carriers and energy storage units in Russia until 2050 according to the baseline scenario

локальных производств и рост потребления водорода. Однако водородные заправки могут получить распространение только в крупных городах и на соединяющих их основных автомагистралях. Стоимость водорода на фоне медленного развития его генерации и высоких затрат на производство, хранение и транспортировку будет снижаться низкими темпами. В-четвертых, будет продолжено развитие атомной энергетики и альтернативных источников генерации электрической энергии с подачей в общую сеть, при этом ее стоимость будет повышаться на фоне роста общего потребления. В-пятых, биодизельное топливо не получит широкого распространения, поскольку требует для своего производства существенных площадей пашни, которые будут все больше востребованы для производства сельскохозяйственной продукции. В-шестых, предполагается сохранение существующего уровня поддержки научных исследований и разработок в области повышения эффективности источников, накопителей и преобразователей энергии, а также автоматизированного электропривода. При этом серийно применяемые технологии и ключевая компонентная база преимущественно будут импортными, вследствие чего их стоимость будет снижаться низкими темпами.

На основании стагнационного сценария развития предложены оценочные значения стоимости энергоносителей и накопителей для сельскохозяйственных мобильных энергетических средств в России на период 2024-2050 гг. (рис. 2).

Прогнозная оценка экономической эффективности мобильных энергетических средств на различных альтернативных источниках энергии осуществлена путем сравнения стоимости моточаса их эксплуатации по базовому и стагнационному сценариям.

Результаты прогнозных значений себестоимости эксплуатации мобильных энергетических средств на альтернативных источниках энергии до 2050 г. по базовому и стагнационному сценариям представлены на рисунке 3. В качестве примера приведены графики себестоимости (руб.) одного моточаса эксплуатации тракторов тяговых классов 1,4; 3 и 5 на дизельном топливе (ДТ), биотопливе (РМ), компримированном природном газе (КПГ), аккумуляторных батареях (АКБ) и водородных топливных элементах (ВТЭ) с обеспечением запаса энергоносителей или электрической энергии для возможности непрерывной работы в течение 8 часов.

Нижние ветви графиков рисунка 3 соответствуют базовому сценарию, а верхние – стагнационному. Область между верхними и нижними ветвями отражают диапазон прогнозируемых значений себестоимости эксплуатации тракторов при использовании рассматриваемых энергоносителей и накопителей энергии.

Полученные графики себестоимости эксплуатации тракторов показывают, что паритет по себестоимости между применением рапсового масла и дизельного топлива может быть достигнут в ближайшие 2-3 года, и в дальнейшем применение рапсового масла может стать экономически оправданным.

Паритет по себестоимости между применением компримированного природного газа и дизельного топлива может быть достигнут уже в настоящее время при условии решения технологических проблем, связанных с использованием компримированного природного газа и созданием доступной инфраструктуры.

Паритет по себестоимости между электрическими тракторами на аккумуляторных батареях и тракторами с двигателями внутреннего сгорания на дизельном

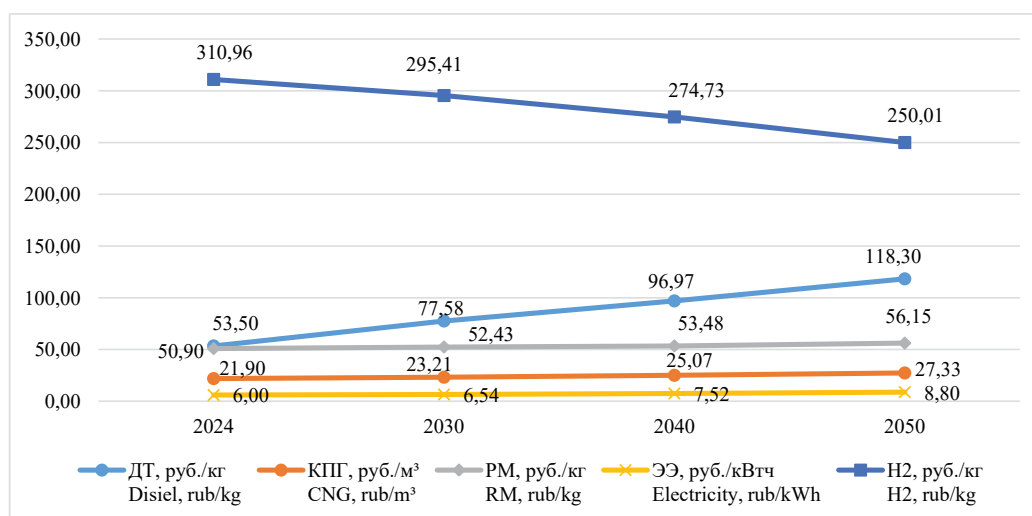


Рис. 2. Прогнозная стоимость энергоносителей в России до 2050 г. согласно стагнационному сценарию

Fig. 2. Projected cost of energy resources in Russia until 2050 according to the stagnation scenario

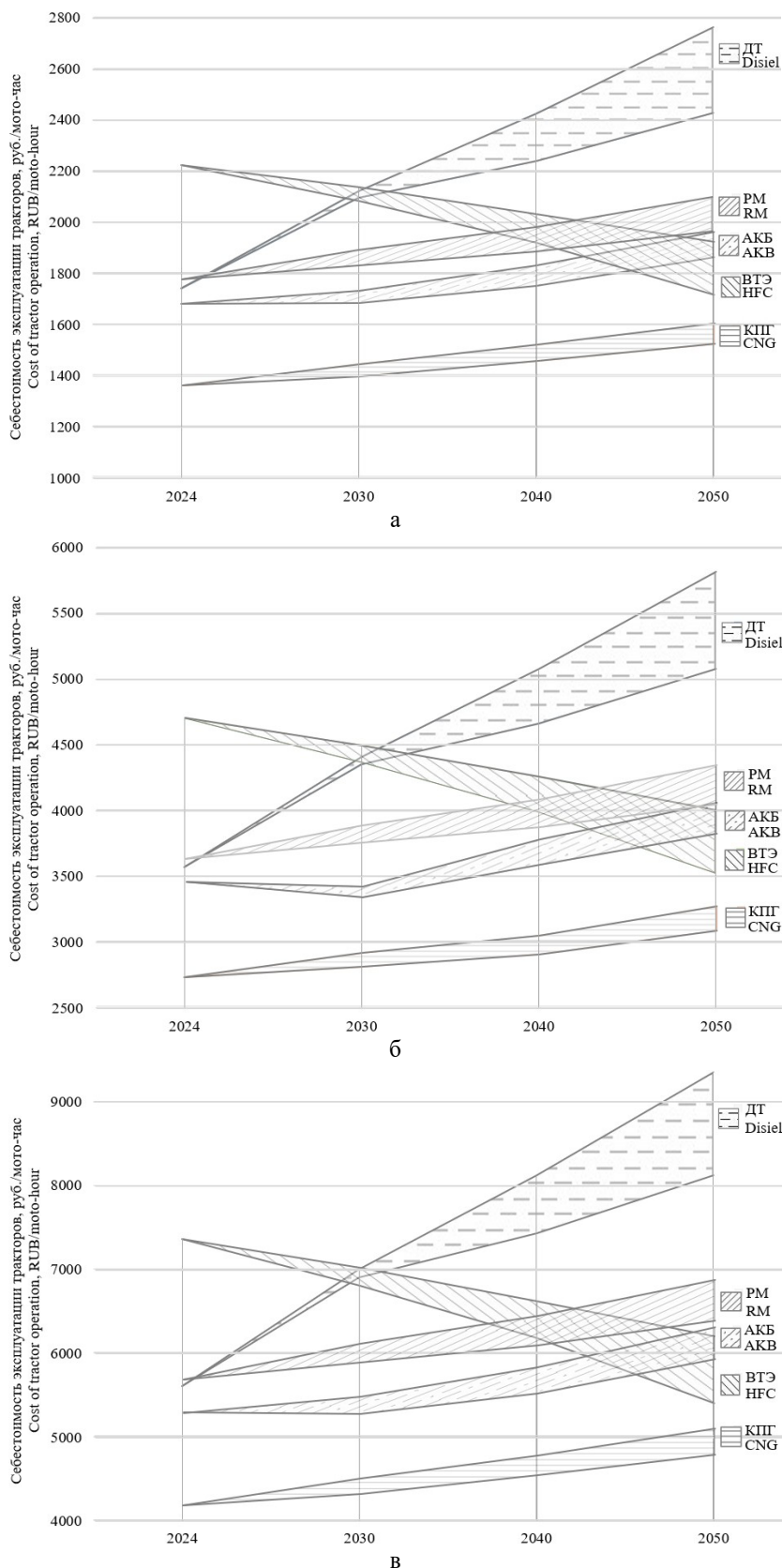


Рис. 3. Прогнозная себестоимость моточаса эксплуатации тракторов на дизельном топливе (ДТ), рапсовом масле (РМ), сжатом природном газе (КПГ), аккумуляторных батареях (АБ) и водородных топливных элементах (ВТЭ) на период до 2050 г.:
 а – тяговый класс 1,4; б – тяговый класс 3; в-тяговый класс 5

Fig. 3. Estimated motor-hour cost for tractors powered by diesel fuel, rapeseed oil, compressed natural gas, rechargeable batteries and hydrogen fuel cells for the period up to 2050:
 a – traction class 1.4; б – traction class 3; c – traction class 5

топливе может быть достигнут уже в настоящее время, и в дальнейшем использование электрических тракторов с аккумуляторными батареями может стать экономически более привлекательным [18, 19].

Паритет по себестоимости между электрическими тракторами на водородных топливных элементах и тракторами с двигателями внутреннего сгорания на дизельном топливе, возможно, будет достигнут к началу – середине 2030-х гг.

Сравнение расчетных значений себестоимости эксплуатации тракторов с применением рапсового масла и электрических тракторов на аккумуляторных батареях показывает, что применение электрических тракторов на аккумуляторных батареях является экономически более предпочтительным.

Сравнение расчетных значений себестоимости эксплуатации тракторов с применением рапсового масла и электрических тракторов на водородных топливных элементах показывает, что использование тракторов с двигателями внутреннего сгорания на рапсовом масле может быть экономически целесообразным до середины 2030 – середины 2040-х гг.

Паритет по себестоимости между электрическими тракторами на аккумуляторных батареях и водородных топливных элементах, возможно, будет достигнут в период с середины 2040-х гг. до 2050 г. При этом существует вероятность того, до 2050 г. паритет может быть не достигнут.

Анализ прогностической оценки показывает, что при необходимости обеспечения непрерывной работы в течение 8 часов экономически приемлемо и технологически допустимо использование тракторов с двигателями внутреннего сгорания на компримированном природном газе и электрических тракторов с аккумуляторными батареями [20]. При необходимости обеспечения непрерывной работы в течение продолжительного времени возможно использование тракторов с двигателями внутреннего сгорания на альтернативном биотопливе в виде рапсового масла. Применение электрических тракторов на водородных топливных элементах в ближайшие 10-15 лет является маловероятным в связи с их низкой экономической эффективностью, технологическими сложностями, необходимостью создания сложной инфраструктуры.

Список источников

1. Нагорнов С.А., Зазуля А.Н., Голубев И.Г., Болотина М.Н. Мировые тенденции в области использования биодизельного топлива // Техника и оборудование для села. 2023. № 10 (316). С. 2-5. EDN: XJAPQS
2. Овчинников Е.В., Уютов С.Ю., Лавров А.В., Дмитриев К.С. Экономическая оценка экологических показателей трактора, работающего на рапсовом масле // Экология

Выводы

1. В долгосрочной перспективе экономически целесообразно использовать трактора тяговых классов 1,4; 3 и 5 с двигателями внутреннего сгорания на газомоторном топливе при условии решения проблем размещения газобаллонного оборудования на борту трактора. В случае необходимости полного исключения выбросов вредных веществ при эксплуатации мобильной техники возможно применение электрических тракторов на аккумуляторных батареях. Перспективными являются исследования, направленные на решение следующих проблем: повышение КПД двигателей внутреннего сгорания и снижение выбросов вредных веществ; снижение материалоемкости и стоимости систем хранения газомоторного топлива на борту мобильных энергетических средств; разработка технологий повышения объемной плотности газомоторного топлива; развитие инфраструктуры передачи газомоторного топлива и систем распределенного хранения на предприятиях.

2. Электрические мобильные средства могут получить распространение в первую очередь на животноводческих фермах, в тепличных комплексах и в складском хозяйстве. Перспективными являются исследования, нацеленные на создание электрических трансмиссий с учетом режимов работы и условий эксплуатации сельскохозяйственной техники, совершенствование накопителей электрической энергии, систем преобразования и управления в направлении повышения эффективности и снижения стоимости, а также на разработку соответствующих решений инфраструктуры по их зарядке.

3. Трактора с двигателями внутреннего сгорания на альтернативном биотопливе имеют высокие перспективы развития, поскольку это требует несущественной модернизации выпускающихся двигателей внутреннего сгорания. При этом сохраняется возможность использования существующей инфраструктуры хозяйств для транспортировки и хранения дизельного топлива. Актуальными в данном направлении являются исследования по модернизации систем питания двигателей внутреннего сгорания, в том числе для работы на биотопливе в чистом виде, и очистке выхлопных газов – в частности, от образующихся при сгорании оксидов азота.

References

1. Nagornov S.A., Zazulya A.N., Golubev I.G., Bolotina M.N. Global trends in the use of biodiesel fuel. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2023;10:2-5. (In Russ.)
2. Ovchinnikov E.V., Uytov S.Yu., Uytov A.V. et al. Economic assessment of environmental performance of a tractor powered by rapeseed oil. *Industrial Ecology*. 2022;4;20-25. (In Russ.)

промышленного производства. 2022. № 4 (120). С. 20-25. EDN: DIUHWY

3. Лиханов В.А., Лопатин О.П. Применение рапсового масла и этанола в дизельном двигателе // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 3. С. 373-389. EDN: UNPSWX

4. Богачек О.Е., Гинзбург Ю.В., Садыков Я.Р. О новой технике использования КПП на транспорте и для мелких стационарных потребителей // Транспорт на альтернативном топливе. 2021. № S1. С. 25-30. EDN: JMVHNO

5. Коваленко В.П., Десянин С.Н., Улюкина Е.А., Тодорив А.В. Перспективы эксплуатации сельскохозяйственной техники на сжатом природном газе // Автогазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2017. Т. 16, № 7. С. 313-315. EDN: ZFRKMZ

6. Захарин А.В., Лебедев П.А., Павлюк Р.В. и др. Расчет целесообразности и эффективности перевода дизельных энергоустройств в газодизельный режим работы // Технический сервис машин. 2023. № 1 (150). С. 57-66. EDN: WWBRYJ

7. Бижаев А.В. Исследование параметров трактора с электроприводом силовым агрегатом // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14, № 4. С. 33-42. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-4-33-42>

8. Лачуга Ю.Ф., Стребков Д.С., Годжаев З.А., Редько И.Я. Электрификация сельскохозяйственных мобильных энергоустройств на основе тягово-энергетической концепции развития техники // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Инженерные исследования». 2020. Т. 21, № 4. С. 260-270. <https://doi.org/10.22363/2312-8143-2020-21-4-260-270>

9. Раков В.А., Литвинов В.И. Анализ экономической эффективности применения гибридного и электрического двигателей в тракторах // Агрозоотехника. 2020. Т. 3, № 3. С. 5. <https://doi.org/10.15838/alt.2020.3.3.5>

10. Федоткин Р.С., Овчинников Е.В., Крючков В.А., Дмитриев К.С. Обзор современных систем подачи топливной смеси на основе водорода в автотракторные двигатели (обзор) // Экология промышленного производства. 2021. № 3 (115). С. 39-46. EDN: SCKNZH

11. Федотов А.В., Ковалев Д.А. Способы хранения и аккумуляции водорода // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2021. Т. 68, № 3 (44). С. 78-85. EDN: PBQJMC

12. Жданов Д.А., Молдабаев К.Т. Тенденции повышения энергоэффективности: возможности возобновляемой и традиционной энергетики // Актуальные проблемы экономики и права. 2020. Т. 14, № 2. С. 249-265. <https://doi.org/10.21202/1993-047X.14.2020.2.249-265>

13. Чернышева А.В., Колобков Б.И., Середя В.А. и др. Исследование возможности применения альтернативных сырьевых источников в качестве энергоносителей для ДВС // Наука в центральной России. 2023. № 5 (65). С. 104-111. EDN: JQSDFU

14. Болотина М.Н., Нагорнов С.А., Зауля А.Н. и др. Экологически чистые источники энергии для привода мобильной сельскохозяйственной техники: Аналитический обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. 80 с. EDN: FQXCEM

15. Измайлов А.Ю., Дорохов А.С., Старостин И.А., Ещин А.В. Декарбонизация мобильных энергетических средств, используемых в сельскохозяйственном производстве // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 1. С. 4-10. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-1-4-10>

16. Шинкарев В.В., Юлусов К.С., Полуэктов Е.К., Манихин А.П. Современные электрохимические накопители электроэнергии // Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности. 2023. Т. 8, № 11 (37). С. 96-109. EDN: HSDUNY

3. Likhonov V.A., Lopatin O.P. Usage of rapeseed oil and ethanol in a diesel engine. *Engineering Technologies and Systems*. 2022;32(3):373-389. (In Russ.) <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202203.373-389>

4. Bogachek O.E., Ginzburg Yu.V., Sadykov Ya.R. New equipment for using CNG in transportation and SME (small and medium enterprises). *Alternative Fuel Transport*. 2021; S1:25-30. (In Russ.)

5. Kovalenko V.P., Devyanin S.N., Ulyukina E.A., Todoriv A.V. Prospects of operation of agricultural machinery on compressed natural gas. *Autogas Filling Complex+Alternative Fuel*. 2017;16 (7):313-315. (In Russ.)

6. Zakharin A.V., Lebedev P.A., Pavlyuk R.V. et al. Efficiency of conversion of diesel power means to gas-diesel operation mode. *Machinery Technical Service*. 2023;1:57-66. (In Russ.)

7. Bizhaev A.V. Research of tractor power unit with electric drive parameters. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2020;14(4):33-42. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-4-33-42>

8. Lachuga Yu.F., Strebkov D.S., Godzhaev Z.A., Redko I.Ya. Electrification of agricultural mobile power facilities based on the traction and energy concept of technology development. *RUDN Journal of Engineering Researches*. 2020;21(4):260-270. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.22363/2312-8143-2020-21-4-260-270>

9. Rakov V.A., Litvinov V.I. Economic value analysis of using hybrid and electric motors in tractors. *Agricultural and Livestock Technology*. 2020;3(3):5. (In Russ.) <https://doi.org/10.15838/alt.2020.3.3.5>

10. Fedotkin R.S., Ovchinnikov E.V., Kryuchkov V.A., Dmitriev K.S. Overview of modern systems for supplying a fuel mixture based on hydrogen in automotive engines (Review). *Industrial Ecology*. 2021;3:39-46. (In Russ.)

11. Fedotov A.V., Kovalev D.A. Methods of storage and accumulation of hydrogen. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*. 2021;68(3):78-85. (In Russ.)

12. Zhdanov D.A., Moldabaev K.T. Trends of increasing energy efficiency: opportunities of renewable and traditional energy sectors. *Actual Problems of Economics and Law*. 2020;14(2):249-265. (In Russ.) <https://doi.org/10.21202/1993-047X.14.2020.2.249-265>

13. Chernysheva A., Kolobkov B., Sereda V., Kornev A., Liksutina A. Study of the possibility of using alternative raw material sources as energy carriers for internal combustion engines. *Science in the Central Russia*. 2023;5:104-111. (In Russ.)

14. Bolotina M.N., Nagornov S.A., Zazulya A.N. et al. Clean energy sources or driving mobile agricultural machinery. Moscow, FGBNU "Rosinformagrotekh", 2023. 80 p. (In Russ.)

15. Izmaylov A.Y., Dorokhov A.S., Starostin I.A., Eshchin A.V. Decarbonization of mobile energy vehicles used in agricultural production. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2024;26(1):4-10. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-1-4-10>

16. Shinkarev V.V., Yulusov K.S., Poluektov E.K., Manikhin A.P. Modern electrochemical power storage devices. *Mezhdunarodnyy zhurnal informatsionnykh tekhnologiy i energoeffektivnosti*. 2023;8(11):96-109. (In Russ.)

17. Katayev Yu.V., Gerasimov V.S., Baulin N.K. Technologies and features of disposal of lithium-ion batteries. *Machinery Technical Service*. 2022;1:32-38. (In Russ.)

18. Tsench Yu.S., Sharov V.V. Advancement of domestic mobile agricultural machinery powered by electric traction. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024;18(3):4-13. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2024-18-3-4-13>

19. Rtischeva N.E., Pulyaev N.N., Guzalov A.S. Electric tractor: design specifics and development prospects.

17. Катаев Ю.В., Герасимов В.С., Баулин Н.К. Технологии и особенности утилизации литий-ионных аккумуляторных батарей // Технический сервис машин. 2022. № 1 (146). С. 32-38. EDN: OERKFQ

18. Ценч Ю.С., Шаров В.В. Становление отечественной мобильной сельскохозяйственной техники на электротяге // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2024. Т. 18, № 3. С. 4-13. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2024-18-3-4-13>

19. Ртищева Н.Е., Пуляев Н.Н., Гузалов А.С. Электрический трактор: особенности конструкции и перспективы развития // Journal of Agriculture and Environment. 2022. № 8 (28). С. 15. <https://doi.org/10.23649/jae.2022.28.8.015>. EDN: WLGPRU

20. Юферев Л.Ю., Споров А.П., Гусаров В.А., Писарев Д.Ю. Тенденции развития сельскохозяйственной электрифицированной мобильной техники // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2022. Т. 69, № 1 (46). С. 3-8. EDN: SGJMPH

Информация об авторах

¹ Старостин Иван Александрович, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник; starwan@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8890-1107>; SPIN-код: 7301-6845

² Ещин Александр Вадимович, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник; eshchin-vim@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9368-7758>; SPIN-код: 7610-5793

³ Давыдова Светлана Александровна, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник; davidova-sa@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1219-3335>; SPIN-код: 1050-6034

^{1, 2, 3} Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5

Вклад авторов

И.А. Старостин – концептуализация, методология;
А.В. Ещин – проведение исследований, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование;
С.А. Давыдова – визуализация, создание черновика рукописи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 17.02.2026, после рецензирования и доработки 17.06.2026; принята к публикации 18.06.2026

Journal of Agriculture and Environment. 2022;8:15. (In Russ.) <https://doi.org/10.23649/jae.2022.28.8.015>

20. Yuferev L.Yu., Sporov A.P., Gusarov V.A., Pisarev D.Yu. Trends in the development of agricultural electrified mobile equipment. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*. 2022;69(1):3-8. (In Russ.)

Author Information

Ivan A. Starostin¹, CSc (Eng), Lead Research Engineer; starwan@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8890-1107>

Aleksandr V. Eshchin², CSc (Eng), Lead Research Engineer; eshchin-vim@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-9368-7758>

Svetlana A. Davydova³, CSc (Eng), Lead Research Engineer; davidova-sa@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1219-3335>

^{1, 2, 3} Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 109428, Russia, Moscow, 1st Institutsky Proezd Str., 5

Author Contribution

I.A. Starostin – conceptualization, research methodology;
A.V. Eshchin – investigation, writing – review and editing of the manuscript;
S.A. Davydova – visualization, writing – original draft.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear equal responsibility for plagiarism

Received 17.02.2026, Revised 17.06.2026; Accepted 18.06.2026