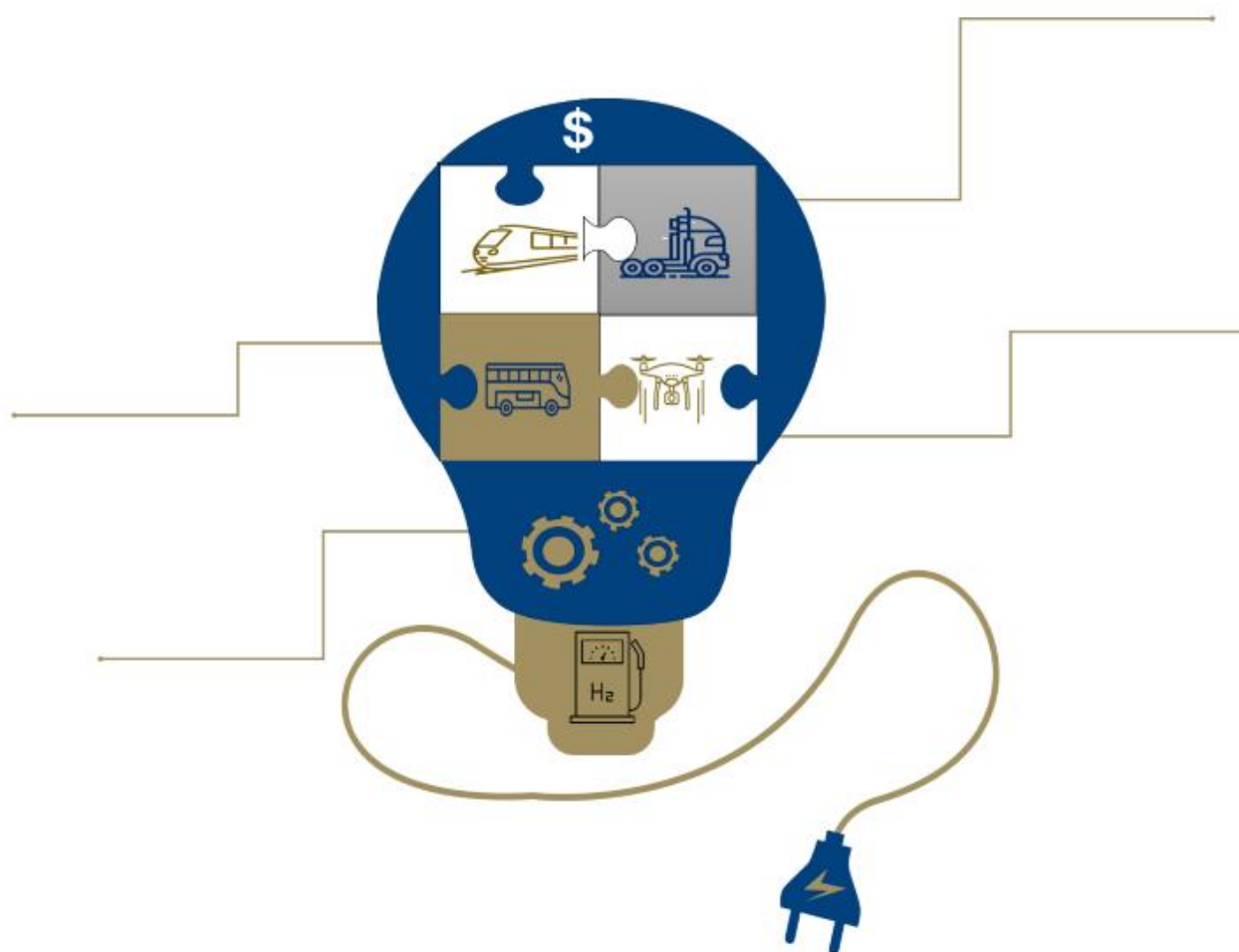


ИНФОРМАЦИОННЫЙ ОБЗОР
Департамента промышленной политики

**Тенденции и перспективы развития производства
водородного транспорта в мире и
в Евразийском экономическом союзе**



2025



Оглавление

РЕЗЮМЕ	4
ВВЕДЕНИЕ	12
1. Теоретические основы работы водородного транспорта	15
1.1 Принцип работы водородного транспорта	17
1.2 Заправочная инфраструктура для водородного транспорта	22
1.3 Безопасность при использовании водорода на транспорте	26
2. Тенденции развития водородного транспорта в мире	28
2.1 Легковые автомобили	36
2.2 Пассажирская техника (автобусы)	37
2.3 Тяжелые грузовики	45
2.4 Сельскохозяйственная и карьерная техника	53
2.5 Водородные поезда	55
2.6 Водородная авиация	59
2.7 Водородные беспилотники	61
2.8 Водородные суда	66
2.9 Развитие водородных заправочных станций в мире	68
3. Предпосылки и текущий уровень развития водородного транспорта в государствах-членах ЕАЭС	75
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	90
Приложение	94



Список используемых сокращений

ЕЭК, Комиссия - Евразийская экономическая комиссия

ЕАЭС, Союз - Евразийский экономический союз

FCEV – электрифицированные транспортные средства на водородных топливных элементах

ДВС - двигатель внутреннего сгорания

ВЗС - водородные заправочные станции

БПЛА - беспилотный летательный аппарат

IEA - Международное энергетическое агентство

IRENA - Международное агентство по возобновляемым источникам энергии



РЕЗЮМЕ

Водородный транспорт динамично развивается на глобальном уровне и становится важной составляющей перехода к низкоуглеродной экономике. На сегодняшний день технология достигла стадии раннего коммерческого применения: в мире накоплен парк порядка 90 000 водородных транспортных средств, создано около 1160 водородных заправочных станций¹, сформированы полноценные линейки водородной техники (автомобили, автобусы, грузовики, поезда) у ряда крупных производителей.

Основные тенденции развития различных видов транспорта в мире

Легковые автомобили на водороде. Водородные легковые автомобили используют либо топливные элементы, либо двигатели внутреннего сгорания на водороде. Наиболее распространены машины на топливных элементах (FCEV), где водород поступает в топливный элемент и вырабатывает электричество для электромотора. Примеры включают Toyota Mirai, Hyundai NEXO и Honda Clarity. Эти автомобили отличаются нулевыми выбросами CO₂ – в процессе работы выделяется только водяной пар. В Японии, США (штат Калифорния) и некоторых странах Европы сформировался парк таких автомобилей в несколько тысяч единиц².

Водород также может применяться в модифицированных двигателях внутреннего сгорания, однако технология не получила широкого распространения в настоящее время.

Общественный транспорт (автобусы). Водородные автобусы активно тестируются и внедряются во многих странах. Автобусы на топливных элементах обеспечивают длительную работу на одной заправке (300 - 400 км и более) и быстрое пополнение топлива (около 10 минут).

В Европе вводятся сотни водородных автобусов (например, в Германии, Франции, Великобритании), в Южной Корее и Японии действуют пилотные автобусные парки на топливных элементах. Такие автобусы снижают выбросы до нуля и отличаются отсутствием шума при движении в городах и уже доказали работоспособность в регулярном движении, хотя стоят дороже дизельных аналогов. В Российской Федерации создаются опытные образцы (КАМАЗ, Волгабас, Объединенный инженерный центр (ГАЗ)).

Грузовой транспорт и спецтехника. Водородные топливные элементы рассматриваются как перспективное направление для грузовых автомобилей большой грузоподъемности и дальнего следования. Компании Hyundai (модель

¹ <https://www.h2stations.org/>

<https://igrader.ru/komtrans/perspektivy-vodorodnogo-transporta/>

² <https://igrader.ru/komtrans/perspektivy-vodorodnogo-transporta/>



XCIENT Fuel Cell), Toyota (совместно с Kenworth и Hino), Nikola, Hyzon и другие производители разработали грузовики на водороде. В Швейцарии, США, Китае осуществляются пилотные грузоперевозки на водородных тягачах. Кроме того, водород применяется в вилочных погрузчиках на складах (компания Plug Power и др.), где преимущества – быстрая заправка и отсутствие выхлопа – ценятся в закрытых помещениях. В 2022 г. компания Anglo American представила водородный самосвал для добычи руды.³ В России также осуществляется производство прототипов грузовиков на водороде (КАМАЗ, УРАЛ, Объединенный инженерный центр (группа ГАЗ)), изготовлен опытный образец вездехода «РУСАК» на водороде. Белорусское предприятие БЕЛАЗ находится в процессе создания самосвала на водороде.

Железнодорожный транспорт. Водородные поезда – новое направление, позволяющее заменить дизельные локомотивы на неэлектрифицированных участках.

В мире уже используются первые локомотивы на водороде, например, в Германии курсируют 14 водородных поездов для обслуживания пассажирских перевозок по 100 - километровому маршруту в Нижней Саксонии. В перспективе водород может применяться и в маневровых локомотивах, и в трамваях, что позволит сократить выбросы и шум на железнодорожном транспорте и городских территориях. Разработки маневровых локомотивов уже ведутся в Российской Федерации компанией «Синара – Транспортные машины» совместно с ОАО «РЖД», также реализуется проект ОАО «Трансмашхолдинг» в Сахалинской области.

В морском транспорте разрабатываются проекты водородных и аммиачных судов для снижения выбросов CO₂. Некоторые паромы на топливных элементах уже испытываются в Европе (Норвегия, Шотландия). В ЕАЭС создан пилотный образец электрического катамарана на водородных топливных элементах (проект Sitronics совместно с АФК «Система»), прогулочно-экскурсионного судна (ФГУП «Крыловский государственный научный центр» совместно с АО «Зеленодольский завод имени А.М. Горького»).

В авиации ведутся исследования по водородным двигателям: например, компания Airbus объявила цель создать к 2035 г. самолёт на водородном топливе.

Однако для авиа- и судостроения водород чаще планируется использовать в виде производных (например, аммиак, синтетическое топливо) из-за плотности энергии. Тем не менее, эти направления подтверждают универсальность водорода как энергоносителя для транспорта.

БПЛА – одно из перспективных направлений в области доставки грузов и в сельском хозяйстве. В России создаются первые пилотные образцы – компанией

³ <https://gmk.center/news/anglo-american-zapustila-na-rudnike-juar-300-tonnyj-samosval-na-vodorode/>



Аэромакс совместно с АФК «Система» ведется разработка водородного БПЛА вертолетного типа с увеличенной дальностью полета; МФТИ и ООО «Гидрожден Энерджи», а также ООО «ТК «Сидера» разработаны БПЛА на водородных топливных элементах для работы в арктических условиях.

Главными локомотивами водородного прогресса выступают страны Восточной Азии (Япония, Южная Корея, Китай) и некоторые государства Запада (Германия, США – особенно Калифорния). Правительства этих стран поддерживают отрасль стратегически и финансово – приняты национальные водородные стратегии, выделены миллиарды на исследования и инфраструктуру, установлены целевые ориентиры на десятилетия вперед.

По состоянию на середину 2024 г. более 52 стран приняли стратегии развития водородной энергетики и часть из этих стратегий содержит положения по внедрению водородного транспорта и развитию водородных заправочных станций. Общая черта принятых стратегий - признание водородного транспорта частью решения проблемы выбросов особенно от тех секторов, где прямой переход на электрифицированный транспорт затруднён.

Анализ национальных водородных стратегий стран мира показывает приоритетность для развития грузового и пассажирского транспорта дальнего следования, среди них:

- тяжелые грузовики;
- междугородные автобусы;
- железнодорожный транспорт;
- в меньшей степени суда и авиация.

В результате реализации водородных стратегий отдельные страны демонстрируют значительные успехи по развитию водородного транспорта и инфраструктуры: Южная Корея, к примеру, стала одним из мировых лидеров по внедрению FCEV, построив почти 290 водородных станций; Германия первой ввела в постоянную эксплуатацию водородные пассажирские поезда (14 составов Alstom iLint полностью обслуживают региональную линию); Китай доказал работоспособность водородного транспорта в экстремальных условиях – свыше 1000 водородных автобусов успешно эксплуатировались на Зимней Олимпиаде-2022 в горах Чжанцзякоу при температурах ниже -20°C ⁴.

В настоящее время Южная Корея и Япония лидируют на рынке легких транспортных средств, работающих на водороде, а Китай - на мировом рынке водородных грузовых автомобилей и автобусов.

⁴ Commercial Hydrogen Fuel Cell Buses in Zhangjiakou, China , UNIDO report, 2022



Согласно данным Hydrogen Council, в 2024 г. в мире количество моделей автобусов и грузовиков, работающих на водороде, превысило 130 единиц.

Эти примеры подтверждают, что водородные технологии выходят за рамки теории и прототипов, они способны решать практические задачи – от ежедневной городской перевозки пассажиров и дальнобойных грузоперевозок до обеспечения железнодорожного сообщения.

Вместе с тем глобальная отрасль всё ещё находится в начальной фазе развития: объёмы производства невелики, себестоимость высока, инфраструктура до конца не сформирована. Водородный транспорт в настоящее время не конкурентоспособен без государственной поддержки на рынке легковых автомобилей – аккумуляторные электромобили ушли вперёд по массовости и удешевлению. Однако в сегменте тяжёлого транспорта (грузовики, автобусы, поезда, суда) водород уже сейчас занимает свою нишу, так как более целесообразен, чем батарейные решения. Именно эти сегменты становятся движущей силой роста: мировые продажи водородных грузовых и пассажирских коммерческих транспортных средств растут на десятки процентов в год, а подавляющее большинство новых моделей водородного транспорта, выходящих на рынок в 2024 – 2025 гг., представляют собой грузовики и автобусы. То есть водородный транспорт эволюционирует в сторону решения специфических задач, дополняя электротранспорт, а не напрямую конкурируя с ним.

Массовое производство и эксплуатация транспортных средств на водороде неизбежно приведут к удешевлению компонентов, росту эффективности и появлению новых инноваций. Уже сейчас КПД топливных элементов превышает 60% и ведутся работы по его повышению до 80%.

Немаловажным фактором в распространении водородного транспорта в ЕАЭС является снятие опасений у населения и разработка стандартов безопасности.

Водород при сравнении с другими видами топлива представляет такие же или меньшие риски благодаря нетоксичности и низкой летучести. В настоящее время для обеспечения безопасной и безотказной работы на каждом этапе проектирования водородных транспортных средств и заправочной инфраструктуры в мире применяются многочисленные процедуры, включая протоколы безопасности. При правильном использовании технология заправки водородом является эффективным и выгодным решением для удовлетворения современных транспортных потребностей.

Несмотря на положительные параметры при использовании водорода, имеются некоторые свойства, требующие более пристального внимания:



1. Водород не имеет запаха, поэтому правильная вентиляция и использование специальных детекторов для обнаружения утечек имеют решающее значение для безопасности водородных систем.

2. Необходимо использование специальных детекторов пламени, так как водород имеет почти невидимое пламя.

3. Для обеспечения безопасности водородных систем важен выбор соответствующих материалов, поскольку некоторые металлы могут стать хрупкими при воздействии водорода.

4. Обучение методам безопасного обращения с водородом и испытаниям водородных систем (такие как испытания на герметичность резервуаров и испытания на падение резервуара с водородом) необходимы для обеспечения безопасного использования водорода.

На уровне ЕАЭС признаётся перспективность водорода, в Основных направлениях промышленного сотрудничества в рамках ЕАЭС до 2030 г. машиностроение в водородной энергетике Сторонами обозначено в качестве приоритета для развития промышленной кооперации.

Вместе с тем повсеместное распространение водородных автомобилей в ЕАЭС в настоящее время не представляется возможным ввиду отсутствия сформированной нормативно-правовой базы в сфере водородной энергетики в отдельных государствах-членах, отсутствия заправочной инфраструктуры, несовершенства системы стандартизации в сфере водородной безопасности, сертификации водородного оборудования, высокой стоимости водородного топлива и опасений населения в связи со сформировавшимся восприятием водорода как взрывоопасного вещества.

Страны Союза на сегодняшний день находятся на разном уровне развития водородного транспорта: если в России реализуются пилотные проекты по созданию различных видов водородного транспорта, в Казахстане намечены стратегические цели и проводятся исследования и анализ основных игроков международного рынка для выбора основных партнеров для применения их опыта на своей территории, то Республика Беларусь, Республика Армения и Кыргызская Республика не имеют стратегических документов, направленных на развитие данного направления, имеются лишь единичные обсуждения водородных проектов и отдельные инициативы по созданию пилотных образцов техники (БЕЛАЗ - самосвал на водороде).



Стратегические документы и нормативно-правовая база в сфере водородной энергетики и водородного транспорта в государствах-членах ЕАЭС

					
Наличие стратегических документов	-	+	-	-	+
Государственные инвестиции в развитие	-	+	-	-	+
Научные исследования	-	+	+	-	+
Разработки	-	+	+	-	+
Пилотные образцы	-	-	+	-	+
Серийное производство	-	-	-	-	-

В то же время у предприятий Союза уже сейчас имеются технологические заделы для создания водородного транспорта, водородной инфраструктуры и комплектующих.

Основными видами водородного транспорта и комплектующих, по которым в отдельных странах Союза проводится исследовательская, опытно-конструкторская работа по подготовке опытных образцов водородной техники являются:

- топливные (водородные) элементы для электротранспорта;
- водородные автобусы;
- водородные грузовики, тяжелая и сельскохозяйственная техника;
- водородные поезда;
- беспилотные летательные аппараты на водородном топливе;
- плавучие суда на водороде;

- комплектующие и материалы в рамках создания пилотных образцов водородного транспорта.

В части тенденций развития производства водородного транспорта на территории ЕАЭС можно заключить, что возможности и интересы стран Союза соответствуют мировым трендам. Перспективы использования водородного транспорта в государствах-членах ЕАЭС имеются в перевозках на дальние расстояния (междугородные автобусы), для доставки грузов в труднодоступные места и обработки сельскохозяйственных угодий (беспилотники на водородном топливе), большегрузного транспорта (грузовики на водороде), карьерной технике (самосвалы, вездеходы), сельскохозяйственной технике для повышения эффективности ее работы.

Страны ЕАЭС обладают потенциалом для широкого внедрения водородного транспорта при развитии технологий, стандартов безопасности и прежде всего, заправочной инфраструктуры.



Союз обладает обширной пассажирской и грузовой инфраструктурой. Многие города ЕАЭС страдают от загрязнения воздуха – водородные автобусы и коммунальная техника могли бы улучшить экологическую обстановку. Также у ЕАЭС есть стимул развивать экспорт водородного топлива и техники, чтобы занять долю на будущем мировом рынке. При грамотном подходе страны Союза способны преодолеть отставание, опираясь на свои сильные стороны:

- **Ресурсная база:** наличие электроэнергии от АЭС (в России, Беларуси, Армении) и ВИЭ-потенциала (Армении, Казахстана, Кыргызстана) позволит в перспективе организовать относительно недорогое производство низкоуглеродного водорода. Кроме того, природный газ (Россия, Казахстан) может использоваться для получения «голубого» водорода с улавливанием CO₂ в качестве переходного этапа. Это даёт доступность топлива, что является ключевым фактором для транспорта.
- **Индустриальная основа:** развитое машиностроение (например, в России – КАМАЗ, ГАЗ, УРАЛ; в Беларуси – МАЗ, БЕЛАЗ; в Казахстане – машиностроение в сфере ж/д; в России и Беларуси – совместный инжиниринг двигателей). Эти предприятия могут быть переориентированы на выпуск новой водородной техники. Уже есть первые образцы (автобус КАМАЗ-6290 на топливных элементах, водородный самосвал БЕЛАЗ).
- **Научный и кадровый потенциал:** в странах ЕАЭС работают профильные научные центры, занимающиеся водородной тематикой.

Предложения по налаживанию промышленного сотрудничества государств-членов ЕАЭС в сфере производства водородного транспорта

1. Необходимость выравнивания нормативного поля, разработка единых стандартов безопасности, технических регламентов в области промышленной безопасности водородного транспорта и инфраструктуры с учетом международных обязательств является важнейшим шагом для расширения применения данного типа транспорта в государствах-членах ЕАЭС.

Ввиду того, что водородный транспорт и инфраструктура для него отличаются от традиционного транспорта, потребуется применение новых подходов и компетенций для персонала, обслуживающих их.

2. Создание демонстрационных, образовательных проектов в сфере водородного транспорта с привлечением научных и промышленных центров государств-членов с целью популяризации данного направления среди населения и органов исполнительной власти государств-членов ЕАЭС.

3. Обмен опытом по реализации пилотных проектов в сфере водородного транспорта.



4. Проработка возможности создания совместных производств водородного транспорта, топливных элементов на основе действующих производственных площадок с использованием механизмов финансирования промышленной кооперации Евразийской экономической комиссии, обеспечивая равноправный доступ к технологическим решениям.

5. Адаптация имеющихся производств машиностроительных предприятий Союза и производителей смежных отраслей промышленности для изготовления комплектующих для водородного транспорта.

6. Создание цепочек поставок комплектующих для создания образцов водородного транспорта в ЕАЭС.

7. Развитие цепочек поставок водорода, систем транспортировки, хранения водорода и заправочной инфраструктуры.

8. Проработка возможности формирования центров евразийских водородных компетенций для разработки новейших технологических решений в сфере водородного транспорта, инфраструктуры, топливных элементов, используемых на таком транспорте.

9. При достижении зрелости водородных технологий на транспорте предлагается рассмотреть возможность формирования транспортных коридоров с ВЗС для запуска пилотных проектов по применению водородного транспорта на трассах государств-членов ЕАЭС (в случае признания целесообразности уполномоченными органами Сторон).

С учетом того, что водородные технологии в транспортном секторе находятся на начальном этапе своего развития у стран Союза есть возможность занять место среди лидеров новой «зеленой» экономики в мире при условии консолидации усилий по освоению производства ключевых элементов (топливных ячеек, баллонов, электролизёров) и запуска региональных парков водородного транспорта с учетом потенциала каждого государства-члена.



ВВЕДЕНИЕ

Информационный обзор о тенденциях и перспективах развития производства водородного транспорта в мире и в Евразийском экономическом союзе (далее – Обзор) подготовлен блоком по промышленности и агропромышленному комплексу Евразийской экономической комиссии (далее – Комиссия) в целях реализации Рекомендации Коллегии Комиссии от 24 января 2023 г. № 2 «О перспективных направлениях сотрудничества государств-членов Евразийского экономического союза в сфере водородной энергетики», а также в соответствии с Основными направлениями промышленного сотрудничества в рамках Евразийского экономического союза до 2030 г., в которых машиностроение в водородной энергетике определено в качестве приоритета для развития кооперационного сотрудничества государств-членов ЕАЭС.

Обзор содержит аналитическую информацию о развитии водородного транспорта в мире, возможных направлениях промышленного сотрудничества государств-членов по производству и внедрению водородного транспорта в государствах-членах ЕАЭС с учетом потенциала каждой из Сторон в долгосрочной перспективе.

В настоящее время особое место в мире отводится развитию технологий, способствующих сокращению выбросов CO₂ и реализации последовательной климатической повестки в различных отраслях промышленности. В начале июля 2024 г. на заседании старших должностных лиц БРИКС две трети выступлений было посвящено водородным технологиям и технологиям энергоперехода, что свидетельствует об актуальности развития данной сферы.

В целях снижения углеродного следа и поиска энергоэффективных решений развитие водородного транспорта становится особенно актуальным.

Все государства-члены ЕАЭС присоединились к Парижскому соглашению по снижению выбросов CO₂ к 2050 г. Одним из путей для снижения углеродного следа на евразийском пространстве может стать переход к экологичным видам транспорта и, соответственно, развитие водородных технологий.

По состоянию на май 2024 г. 52 страны мира приняли стратегию или дорожные карты в области развития водородной энергетики, в том числе, содержащие положения по водородному транспорту.

Преимущества использования водородного транспорта находят все большее применение в мире.

Стоит отметить, что водород все еще занимает незначительную долю в общем объеме транспортных средств в мире и в ближайшее время данная тенденция не



сможет быть изменена ввиду высокой стоимости водорода, отсутствия широкого распространения водородной инфраструктуры.

Использование водорода тестируется на всех направлениях транспорта – наземного, водного и воздушного, однако наибольшее развитие получает грузовой и пассажирский транспорт. Отдельные компании в мире уже производят грузовики на водороде, железнодорожный транспорт, проводятся тестовые испытания карьерных самосвалов на водороде.

Водородный транспорт на данный момент массово не представлен в ЕАЭС. Развитие производства водородной техники находится на стадии изготовления прототипов и демонстрационных образцов различных типов: речных трамваев, беспилотных летательных аппаратов, грузовиков на водородном топливе, автобусов и маршруток, погрузчиков, также реализуется пилотный проект по созданию водородного поезда. Автомобили на водородном топливе импортного производства, например, Toyota Mirai, не распространены и используются в штучных экземплярах, ввиду отсутствия заправочной инфраструктуры.

Вместе с тем применение водородного транспорта в отдельных отраслях в рамках Союза имеет значительный потенциал, хоть и с отложенным действием ввиду необходимости развития заправочной инфраструктуры и урегулирования вопросов сертификации, безопасности такого транспорта, стоимости водорода.

Перспективы использования водородного транспорта в государствах-членах ЕАЭС имеются в перевозках на дальние расстояния (междугородние автобусы), для доставки грузов в труднодоступные места и обработки сельскохозяйственных угодий (беспилотники на водородном топливе), большегрузного транспорта (грузовики на водороде), карьерной технике (самосвалы, вездеходы), сельскохозяйственной технике для повышения эффективности ее работы.

Актуальность Обзора обусловлена стремительно развивающимися технологиями в сфере водородного машиностроения в мире и появлением новых компетенций в государствах-членах, связанных с развитием водородного транспорта.

Несмотря на то, что массовое внедрение водорода на транспорте в государствах-членах представляется отдаленной перспективой уже сейчас представляется целесообразным закладывать основы для развития водородной отрасли в ЕАЭС в соответствии с основными мировыми трендами и уделять пристальное внимание развитию собственных инновационных разработок и решений для создания технологических заделов в производстве различных видов водородного транспорта.

На текущем этапе развития евразийской интеграции целесообразно прорабатывать возможные направления стратегического сотрудничества Сторон и их



организаций: научно-исследовательские разработки, пилотные проекты, принятие во внимание стратегических отраслевых документов государств-членов, разработки единообразных стандартов безопасности в водородной сфере.

При подготовке Обзора использовалась информация из открытых источников, официальных сайтов уполномоченных органов в сфере энергетики и климатических изменений в странах мира, отчеты и информация IEA, IRENA, официальные отчеты Hydrogen Council, данные международных аналитических агентств (BloombergNTF, McKinsey & Company, Mordor intelligence и др.), авторитетных автомобильных изданий, Китайской ассоциации автопроизводителей (CAAM), Европейской ассоциации автопроизводителей (ACEA), официальный сайт по развитию водородной заправочной инфраструктуры в мире (www.h2stations.org), информация, предоставленная государственными органами, организациями государств-членов ЕАЭС, аналитические материалы Комиссии.



1. Теоретические основы работы водородного транспорта

В настоящее время рынок транспортных средств на водородных топливных элементах переживает значительный рост интереса и развития в связи с тем, что при использовании водородного транспорта выделяется только водяной пар в качестве побочного продукта. Использование водородного транспорта позволит решить экологические проблемы и предлагает альтернативу традиционным транспортным средствам с двигателем внутреннего сгорания.

Виды водородного транспорта

Легковые автомобили на водороде. Водородные легковые автомобили используют либо топливные элементы, либо двигатели внутреннего сгорания на водороде. Наиболее распространены машины на топливных элементах (Fuel Cell Electric Vehicles, FCEV), где водород поступает в топливный элемент и вырабатывает электричество для электромотора. Примеры включают Toyota Mirai, Hyundai NEXO и Honda Clarity. Эти автомобили отличаются нулевыми выбросами CO₂ – в процессе работы выделяется только водяной пар. На сегодняшний день в Японии, США (штат Калифорния) и некоторых странах Европы сформировался парк таких автомобилей в несколько тысяч единиц⁵.

Водород также может применяться в модифицированных двигателях внутреннего сгорания (HICEV – Hydrogen Internal Combustion Engine Vehicle).

Общественный транспорт (автобусы). Водородные автобусы активно тестируются и внедряются во многих странах. Автобусы на топливных элементах обеспечивают длительную работу на одной заправке (300–400 км и более) и быстрое пополнение топлива (около 10 минут).

В Европе, по программам JIVE и др., вводятся сотни водородных автобусов (например, в Германии, Франции, Великобритании), в Южной Корее и Японии действуют пилотные автобусные парки на топливных элементах. Такие автобусы снижают выбросы в городах до нуля и уже доказали работоспособность в регулярном движении, хотя стоят дороже дизельных аналогов. В Российской Федерации создаются опытные образцы (КАМАЗ, Волгабас, Объединенный инженерный центр (группа ГАЗ)).

Грузовой транспорт и спецтехника. Водородные топливные элементы рассматриваются как перспективное направление для грузовых автомобилей

⁵ <https://igrader.ru/>
<https://issek.hse.ru/news/840275432.html>



большой грузоподъёмности и дальнего следования. Компании Hyundai (модель XCIENT Fuel Cell), Toyota (совместно с Kenworth и Hino), Nikola, Hyzon и другие производители разработали грузовики на водороде. В Швейцарии, США, Китае осуществляются пилотные грузоперевозки на водородных тягачах. Кроме того, водород применяется в вилочных погрузчиках на складах (компания Plug Power и др.), где преимущества – быстрая заправка и отсутствие выхлопа – ценятся в закрытых помещениях. В 2022 г. компания Anglo American представила водородный самосвал для добычи руды.⁶ В России также осуществляется производство прототипов грузовиков на водороде (КАМАЗ, УРАЛ, Объединенный инженерный центр (группа ГАЗ)).

Сельскохозяйственная техника. В данной сфере проводятся разработки пилотных образцов тракторов на водородных топливных элементах, испытываются прототипы карьерной техники (основные страны-разработчики: Япония, Южная Корея, страны ЕС, США).

Железнодорожный транспорт. Водородные поезда – новое направление, позволяющее заменить дизельные локомотивы на неэлектрифицированных участках.

В мире используются первые локомотивы на водороде. В перспективе водород может применяться и в маневровых локомотивах, и в трамваях – это сокращает выбросы и шум на ж/д транспорте. Разработки маневровых локомотивов уже ведутся в Российской Федерации компанией «Синара – Транспортные Машины» совместно с ОАО «РЖД», также реализуется проект ОАО «Трансмашхолдинг» в Сахалинской области.

В морском транспорте разрабатываются проекты водородных и аммиачных судов для снижения выбросов CO₂. Некоторые паромы на топливных элементах уже испытываются в Европе (Норвегия, Шотландия). В ЕАЭС создан пилотный образец электрического катамарана на водородных топливных элементах (проект Sitronics совместно с АФК «Система»), опытного прогулочно-экскурсионного судна с системой электродвижения (АО «Зеленодольский завод имени А.М. Горького»).

В авиации ведутся исследования по водородным двигателям: например, компания Airbus объявила цель создать к 2035 г. самолёт на водородном топливе.

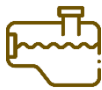
Однако для авиа- и судостроения водород чаще планируется использовать в виде производных (например, аммиак, синтетическое топливо) из-за плотности энергии. Тем не менее, эти направления подтверждают универсальность водорода как энергоносителя для транспорта.

БПЛА – одно из перспективных направлений в области доставки грузов и сельском хозяйстве. В России созданы пилотные образцы такой техники.

⁶ <https://gmk.center/news/anglo-american-zapustila-na-rudnike-juar-300-tonnyj-samosval-na-vodorode/>



Более подробно тенденции развития каждого вида водородного транспорта будут рассмотрены в разделе 2 Обзора.



1.1 Принцип работы водородного транспорта

Водородный автомобиль может функционировать на основе двух основных технологий: **водородные топливные элементы и внутреннее сгорание топлива. Рассмотрим их подробнее.**

1. Водородные топливные элементы.

Основой FCEV является установка топливных элементов (fuel cell stack).

Топливные элементы используют химическую реакцию для слияния газообразного водорода и молекул кислорода с выделением электрической энергии, которая улавливается и поступает в аккумулятор для питания электродвигателей. Электромобили на топливных элементах (FCEV) считаются электромобилями, так как для приведения их в движение используются электрические моторы. Однако им требуются гораздо меньшие батареи, чем традиционным электрокарам, кроме того, им не нужна зарядка от розетки, они заправляются по тому же принципу, как и бензиновые автомобили.

Топливный элемент работает как генератор, используя водород в качестве топлива. Преимущество топливного элемента заключается в том, что он гораздо эффективнее двигателя внутреннего сгорания, а его КПД превышает 60%.

Топливные элементы собираются в батарею (стэк) для обеспечения требуемой мощности. Кроме стэка в водородном электромобиле присутствуют: электродвигатель для привода колёс, тяговая батарея (аккумулятор) небольшого размера для рекуперации энергии и помощи при пиках нагрузки, контроллеры силовой электроники и системы охлаждения.

Из-за высокого давления, при котором хранится водород бак является важным элементом транспортного средства. В настоящее время резервуары для хранения водорода изготавливаются из материалов последнего поколения - цилиндрических и полых. Эти резервуары для транспортных средств хранят водород при давлении от 350 до 700 бар. При давлении 700 бар 5 кг водорода можно хранить в объеме 160 литров, что обеспечивает запас хода 650-800 км на одной заправке в зависимости от количества устанавливаемых баков на грузовике.⁷ Для сравнения усредненный объем бака для грузовика на ДВС составляет порядка 500 литров, что обеспечивает запас хода около 1200 км.

⁷ <https://www.drom.ru/info/misc/81326.html>



Нужны также дозирующие системы подачи водорода в топливный элемент, компрессоры подачи воздуха, инверторы и прочие элементы силовой цепи. В совокупности комплектующие водородного автомобиля технологически сложны и требуют высококачественных материалов (например, платина в топливных элементах), что обуславливает высокую цену таких машин сегодня.

Среди современных водородных автомобилей можно отметить Hyundai Nexoh, Toyota Mirai, BMW iX5 Hydrogen, Honda Clarity, Mercedes-Benz F-Cell, Hyundai ix35 FCEV и другие.

Вместе с нулевым выхлопом концепция развития электроводородных автомобилей предусматривает отказ от технического обслуживания в привычном его понимании: не требуется замена масла в двигателе внутреннего сгорания или трансмиссии, а также отсутствует необходимость по замене свечей. Это благоприятно влияет на стоимость эксплуатации транспортного средства.

Оптимальным и технически отработанным считается производство водородных топливных элементов, которые преобразуют химическую энергию в электричество. Они применимы в промышленности для автономной генерации и накопления энергии, на транспорте (авиа-, авто-, железнодорожном), в электроэнергетике для обеспечения энергией удаленных и труднодоступных районов. Так, в Индии значительная часть проектов национального водородного альянса нацелены на разработку топливных элементов для автобусов, автомобилей, поездов. В 2021 г. в Южной Корее запущена крупнейшая в мире электростанция на водородных топливных элементах, рассчитанная на 250 тыс. домохозяйств. Японская компания Teijin Group работает над созданием портативных водородных топливных ячеек для применения в строительстве и на морском транспорте, изучается возможность использования водорода и в космических аппаратах.

Водород хранится на транспорте преимущественно в газообразном виде под давлением 350 или 700 атм, в баллонах из углеволокна с внутренней герметичной оболочкой. Конструкция баллонов проходит строгие краш-тесты и испытания на огнестойкость – статистика показывает, что водородные баки обеспечивают сопоставимый уровень безопасности с бензобаками. В некоторых проектах рассматривается жидкий водород (при -253 °C) для увеличения запасённой энергии, но поддержание такого низкого температурного режима на транспорте сложно и затратно. Безопасность водородного транспорта обеспечивается также датчиками утечки, автоматическими вентилями сброса водорода при аварии, вентиляцией отсеков. В целом, при соблюдении норм, водородные автомобили безопасны в эксплуатации. За последние годы не было зарегистрировано серьёзных инцидентов с водородными легковыми авто.



2. Внутреннее сгорание топлива.

Транспортное средство с ДВС на водороде по устройству близко к традиционным автомобилям. У него также есть баллоны для водорода и система подачи газа во впуск двигателя. ДВС модифицирован под водородное топливо: используются специальные инжекторы, изменено зажигание (водород имеет более широкие пределы воспламенения и требует тщательного управления смесью). В остальном конструкция аналогична бензиновому или газовому двигателю – цилиндры, поршни, коленвал и т.д. Преимущество – относительная простота освоения производства на базе существующих технологий ДВС, однако водородный ДВС менее эффективен, чем топливный элемент, и всё же выбрасывает небольшое количество NOx (из-за высокотемпературного сгорания в атмосфере азота). Поэтому для легкового транспорта ДВС на водородном топливе перспективен скорее как переходная или нишевая технология, либо для очень тяжёлой техники, где требования к энергоотдаче экстремальны.

На сегодняшний день водородные двигатели внутреннего сгорания не распространены. Предпочтение отдается водородным топливным элементам.⁸

При этом варианте автомобиля техническое обслуживание необходимо проводить с определенной периодичностью. Примером применения технологии может служить мелкосерийный выпуск BMW 7-й серии в двухтопливной модификации для корпоративных клиентов, которые можно было заправлять как бензином, так и водородом.⁹

Для понимания разницы между привычными автомобилями с ДВС на бензине, электромобилями и водородным автомобилем приведем сравнительную характеристику параметров данных видов транспортных средств (таблица 1).

Практические тесты современных электромобилей показывают, что они имеют запас хода в 300-500 км. Благоприятное воздействие на развитие электромобилей имеет растущие сети быстрых зарядных станций (Tesla Supercharger, IONITY в Европе), что улучшает удобство их эксплуатации.¹⁰

По данным опросов Bloomberg NEF и Transport & Environment владельцы электромобилей отмечают низкую стоимость обслуживания и «топлива» (электроэнергии), в тоже время имеются негативные факторы в виде снижения запаса хода на 10-20% в холодном климате.¹¹

⁸ <https://www.drom.ru/info/misc/81326.html>

⁹ <https://igrader.ru/komtrans/perspektivy-vodorodnogo-transporta/>

¹⁰ AutoBild, InsideEVs, Electrek, Autocar

¹¹ <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>

Таблица 1 – Сравнительная характеристика водородного автомобиля, электромобиля и автомобиля с ДВС¹²

Параметры		Водородный автомобиль	Электромобиль	Автомобиль с ДВС
Тип топлива		водород	электричество	бензин
Максимальная скорость		175 км/ч	250 км/ч	235 км/ч
Разгон 0-100 км/ч		9,2 сек	3,1 сек	5,9 сек
Запас хода		320–400 км при заправке 300 бар; 650–800 км при заправке 700 бар	до 500 км	480–650 км
Время заправки/зарядки		5 минут	15-30 минут	5 минут
Выбросы CO ₂		0 г/км	0 г/км	121-150 г/км
Средний расход		0,8 кг водорода /100 км	18 кВт*ч/100 км	7,5 л/100 км
Средняя стоимость		60 000 USD	90 000 USD	45 000 USD
Экологичность		Высокая	Высокая	Низкая

В то же время водородный автомобиль Toyota Mirai, по оценкам пользовательского опыта в США (Калифорния) и Японии, показывает быстрые заправки (3-5 минут), запас хода более 500 км, однако владельцы сталкиваются с нехваткой водородных станций, что снижает спрос на покупку таких автомобилей. Отчёты Калифорнийского совета по воздушным ресурсам (CARB) подтверждают хорошую экологическую эффективность, но признают ограниченность инфраструктуры.

Прогнозы Bloomberg NEF указывают, что стоимость батарей стремительно снижается - более 80% падения цены за последнее десятилетие. При данных тенденциях к 2030-м годам электромобили могут стать дешевле ДВС в сегментах пассажирской техники, легковых автомобилей, грузовиках.¹³

¹² Усреднённые параметры на основе характеристик ключевых производителей+ тесты ADAC
<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/laden/schnellladen-langstrecke-ladekurven/>
<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/elektroauto/stromverbrauch-elektroautos-adac-test/>

¹³ <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/>



Водородная энергетика, по прогнозам Международного агентства по возобновляемым источникам энергии (IRENA), станет значительно доступнее после 2030-2040 гг., в случае реализации масштабных проектов по производству зелёного водорода и развития заправочной инфраструктуры.¹⁴

Тесты, проводимые независимыми агентствами (ADAC в Германии, Consumer Reports в США), показывают, что электромобили более экономичны на 100 км пробега и имеют более высокий КПД, чем автомобили с ДВС. ДВС остаётся удобным, если говорить о дальних поездках в условиях слаборазвитой зарядной инфраструктуры¹⁵.

Водородные автомобили могут быть конкурентоспособными по сравнению с другими видами в случае развития соответствующей инфраструктуры.

Водородные автомобили имеют ряд преимуществ по сравнению с автомобилями с двигателями внутреннего сгорания:

- **Экологичность.** Основное преимущество водородных автомобилей заключается в их низком уровне выбросов. При правильном производстве водород может быть абсолютно чистым источником энергии, выделяя только пар в качестве побочного продукта.
- **Возобновляемость.** Водород можно получать из различных источников, включая воду и газ.
- **Высокая энергетическая плотность водорода,** что позволяет создать более лёгкие и эффективные транспортные средства с большим запасом хода.
- **Быстрая заправка.** Водородные автомобили можно заправлять за время, сопоставимое с заправкой бензиновых или дизельных машин, в отличие от длительной зарядки электрокаров.
- **Бесшумность.** Данный параметр важен для больших городов.

Таким образом можно заключить, что автомобили с двигателями внутреннего сгорания экологически неэффективны и в отдаленной перспективе будут постепенно заменяться на более экологичные виды транспорта.

В настоящее время электромобили являются лидерами легкового рынка с точки зрения экологичности и будущих экономических перспектив при условии развития зарядной инфраструктуры и уменьшения стоимости батарей.

В то же время использование водородных автомобилей перспективно, особенно для дальнего и тяжёлого транспорта, однако в настоящее время его развитие замедляется нехваткой инфраструктуры и высокой стоимостью «зелёного» водорода. Есть вероятность, что водородный транспорт сможет занять свою нишу в средне- и долгосрочной перспективе.

¹⁴ IRENA_G7_Decarbonising_hard_to_abate_sectors_2024

¹⁵ <https://www.consumerreports.org/cars/>



При сравнении водородных топливных элементов (ВТЭ) и литий-ионных батарей КПД выше у электрических решений.

В связи с долгосрочным характером развития водородных технологий в мире в рамках ЕАЭС представляется целесообразным уделять пристальное внимание развитию технологических решений в сфере водородного транспорта, в том числе разработке водородных топливных элементов, компонентов для транспортных средств на водородном топливе, материалов с учетом свойств водорода.



1.2 Заправочная инфраструктура для водородного транспорта

Развитие водородной заправочной инфраструктуры (ВЗС) имеет принципиальное значение для широкого внедрения водородного транспорта.

Станция заправки водородом — это объект, предназначенный для доставки топлива на транспортные средства, такие как электромобили топливных элементов (FCEV), автобусы или грузовики с водородным двигателем. Эти станции обычно сжимают и хранят газообразный водород на месте, который затем распределяется на транспортные средства через насос, аналогичный традиционным бензиновым или дизельным заправочным станциям.

Устройство ВЗС.

Основные компоненты: хранилище водорода (наземные баллоны высокого давления или криогенные резервуары для жидкого H_2), компрессорные установки, охлаждающие системы, дозирующие колонки. Если водород доставляется в жидком виде, на станции его испаряют и сжимают.

Чаще водород привозят в виде сжатого газа в трейлерах-баллонах или вырабатывают на месте (электролизёры на крупных станциях). Далее компрессоры доводят давление до требуемого (до 900 бар, чтобы «забить» в авто 700 бар).

Перед выдачей газ охлаждается до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, поскольку при быстром наполнении баллона происходит нагрев.

Заправочная колонка оснащена специальным разъёмом-пистолетом стандарта SAE J2600 для легковых (700 бар) или другого стандарта для автобусных (350 бар) заправок. В процессе заправки система коммуникации между автомобилем и колонкой контролирует давление и температуру для безопасного наполнения. Узел учета фиксирует указанные параметры, а также вычисляет количество поступившего водорода.¹⁶

¹⁶ <https://www.gilbarco.com/eu/sites/gilbarco.com.eu/files/pdfs/hydrogen-dispenser-data-sheet-eu-july-2022-digital.pdf>



Время заправки легкового авто – порядка 3–5 минут на около 5 кг водорода. Автобусу или грузовику (при 35 МПа) требуется около 10–15 минут для десятков килограмм.

Станция оборудована множеством датчиков утечки водорода, автоматическими отключателями при авариях, зонами отчуждения (обычно станция огорожена, аппаратура часто размещена на открытом воздухе или в вентиляционных шахтах). Таким образом, технологически H₂-станция гораздо сложнее бензоколонки или электростанции.

Технологии хранения и выдачи.

Основной метод – хранение сжатого газообразного водорода. Типовое давление хранения на станции – 40–80 МПа. Используются массивы баллонов, часто из стали или композитов, либо подземные резервуары. Альтернатива – криогенное хранение жидкого водорода.¹⁷

В автомобиле в основном заправляют газообразный охлажденный до -40 °С водород под давлением. Для спецтехники (например, авиа) возможно будут использовать жидкий водород.

Также ведутся разработки по заправке водородом, хранящимся в химически связанном виде (например, в виде метанола или аммиака с последующим риформингом на борту).

Объем рынка водородных заправочных станций в Европе в 2023 г. составил 1,56 млрд долл. США и, как ожидается, среднегодовой темп роста составит 13,4% с 2024 по 2032 гг. из-за растущего внедрения электромобилей на топливных элементах (FCEV) и роста инвестиций в водородную инфраструктуру.¹⁸

Существуют различные концепции инфраструктуры заправки, подходящие для разных уровней спроса на водород, от заправки одного автомобиля до крупных заправочных станций, способных заправлять несколько автомобилей и автобусов ежедневно.

Можно выделить 3 типа водородных заправочных станций, действующих в мире (далее – ВЗС):

- Мобильные ВЗС (на шасси) используются для временного использования (стройки, мероприятия) (рисунок 1).

¹⁷ <http://www.turbine-diesel.ru/rus/node/2210>

¹⁸ Global Market Insights «Рынок водородных заправочных станций в Европе, Отчет о росте 2032», 2024

Рисунок 1 - Пример водородной мобильной заправочной станции



Компания Westfalen представила в Германии передвижную водородную заправочную станцию, разработанную в партнерстве с NanoSun. Система обеспечивает надежную заправку водородом транспортных средств с топливными элементами (автобусы, грузовики или автомобили) на строительных площадках, в логистике, в портах или в аэропортах. Станция не только быстро и гибко настраивается, но и является прочным, простым и недорогим решением.

Подобные решения рассматриваются в качестве перспективных на начальном этапе при реализации водородных проектов в Российской Федерации в связи с более низкой стоимостью строительства по сравнению с другими видами ВЗС.

- Стационарные ВЗС: подключены к энергосетям или локальным источникам (солнечные панели).

- Гибридные ВЗС: совмещают H₂, EV-зарядки и традиционное топливо (Shell, TotalEnergies).

Водородная заправочная инфраструктура в настоящее время постоянно совершенствуется и разрабатываются новые решения.

Например, Toyota Motor Europe подписала соглашение с HRS и ENGIE о выпуске нового поколения систем заправки водородом, позволяющих заправлять большегрузные автомобили менее чем за 10 минут. Японский производитель совершил значительный прорыв, сократив вдвое время заправки 40-тонных грузовиков - теперь оно составляет всего 8 минут для запаса хода 600 км и 12 минут для запаса хода 900 км. Для легких коммерческих автомобилей заправка стала еще быстрее, сократившись до 5 минут.¹⁹ Это достижение стало возможным благодаря технологии Twin Mid Flow, которая использует систему с двумя соплами с увеличенным расходом. Помимо сокращения времени заправки, это нововведение, как ожидается, поможет снизить стоимость будущих водородных заправочных станций.

В настоящее время водородная заправочная инфраструктура в ЕАЭС не сформирована, единственная водородная заправочная станция на основе

¹⁹ <https://newsroom.toyota.eu/h2-refuelling-tmf/>



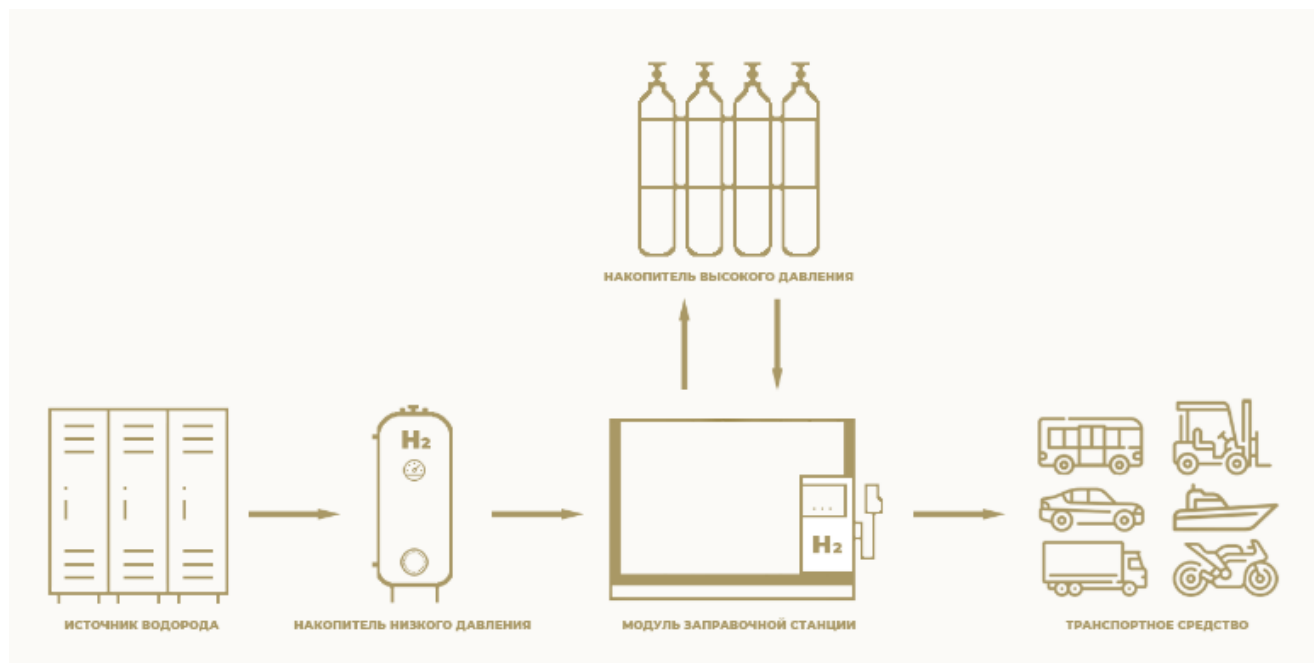
генератора водорода (электролизера) для заправки транспортных средств с рабочим двигателем 350 АТМ разработки ООО «Поликом» находится в г. Черноголовка Российской Федерации.

Принцип действия данной заправки заключается в том, что генератор водорода производит водород, который запасается под давлением до 40 атм в накопителе низкого давления. По мере его заполнения включается водородный компрессор, который перекачивает водород в накопитель высокого давления, где он запасается при 400 атм.

Принцип построения водородной заправочной станции, согласно информации ООО «Поликом» (рисунок 2)²⁰:

- Источник водорода (обычно это электролизер, установка по производству водорода из метана, источник привозного водорода)
- Промежуточный накопитель водорода низкого давления
- Модуль заправочной станции
- Промежуточный накопитель водорода высокого давления
- Заправляемое транспортное средство.

Рисунок 2 – Схематичное изображение водородной заправочной станции ООО «Поликом»²¹



²⁰ Информация с официального сайта ООО «Поликом»

²¹ Там же



Модуль заправочной станции обеспечивает сжатие водорода до 400 бар, а также коммутацию водорода для заполнения накопителя водорода высокого давления и последующей быстрой заправки транспорта.

В работе реальных ВЗС существует значительное количество дополнительных нюансов и ноу-хау, направленных на оптимизацию работы узлов и повышение надежности функционирования. Поскольку молекулы водорода крайне малы, они могут способствовать возникновению уникальной формы коррозии, известной как водородное охрупчивание – явление, которое снижает пластичность металла и его устойчивость к разрушению и усталости. Следствием этих проблем может стать отказ системы, что приводит к повышению риска для безопасности, увеличению времени простоя и финансовым убыткам. Но выбор правильного материала может предупредить водородное охрупчивание. Грамотно спроектированная водородная система включает трубы из нержавеющей стали 316 с содержанием никеля 12%, которые характеризуются отличными эксплуатационными показателями и долгим сроком службы.²²

В настоящее время в ЕАЭС имеется несколько производителей нержавеющей стали марки 316 с содержанием никеля 12%.



1.3 Безопасность при использовании водорода на транспорте

Необходимо остановиться на укоренившемся в обществе мнении об опасности хранения, использования и применения водорода. Данный фактор является сдерживающим для развития водородного транспорта в государствах-членах ЕАЭС.

В настоящее время имеется ряд научно доказанных фактов о водородном топливе, которые могут нивелировать опасения потребителей Союза при учете особенностей обращения с ним (рисунок 3).

Водород при сравнении с другими видами топлива представляет такие же или меньшие риски благодаря нетоксичности и низкой летучести. В настоящее время для обеспечения безопасной и безотказной работы на каждом этапе проектирования водородных транспортных средств и заправочной инфраструктуры в мире применяются многочисленные процедуры и протоколы безопасности. При правильном использовании технология заправки водородом является эффективным и выгодным решением для удовлетворения современных транспортных потребностей.

²² <https://www.swagelok.com/>

Несмотря на положительные параметры водорода имеются некоторые свойства, требующие более пристального внимания:

1. Водород не имеет запаха, поэтому правильная вентиляция и обнаружение утечек имеют решающее значение для безопасности водородных систем. Для раннего обнаружения утечек потребуются специальные детекторы²³.

2. Водород имеет почти невидимое пламя, поэтому необходимо использовать специальных детекторов пламени.

3. Для обеспечения безопасности водородных систем важен выбор соответствующих материалов, поскольку некоторые металлы могут стать хрупкими при воздействии водорода.

4. Обучение методам безопасного обращения с водородом и испытаниям водородных систем (такие как испытания на герметичность резервуаров и испытания на падение резервуара с водородом) необходимы для обеспечения безопасного использования водорода.

Рисунок 3 – Свойства водорода при использовании в качестве топлива



²³ <https://www.swagelok.com/>



С принятием водородных стандартов в ЕАЭС и с учетом накапливаемого опыта по обращению с водородом в мире, широким внедрением водородной заправочной инфраструктуры, будет повышаться уверенность в его безопасном использовании аналогично с другими распространенными видами топлива.

2. Тенденции развития водородного транспорта в мире

Развитие водородного транспорта в мире обусловлено реализацией целей по повышению углеродной нейтральности до 2050 г. странами, присоединившимися к Парижскому соглашению по климату.

К Парижскому соглашению присоединились 194 страны, в том числе и государства-члены ЕАЭС.²⁴

По состоянию на середину 2024 г. более 52 стран приняли стратегии развития водородной энергетики и часть из этих стратегий содержит положения по внедрению водородного транспорта и развитию водородных заправочных станций.

Анализ национальных водородных стратегий стран мира показывает приоритетность для развития тяжелого и пассажирского транспорта дальнего следования, среди них:

- тяжелые грузовики;
- междугородные автобусы;
- железнодорожный транспорт;
- в меньшей степени суда и авиация.

Фокус для водорода на сегментах тяжелого и дальнего транспорта связан с тем, что для легкового транспорта незначительной протяженности уже сейчас развиваются решения на основе батарей - электромобили. По данным аналитиков, легковые аккумуляторные электромобили по стоимости владения в Европе уже сравнялись с бензиновыми и дизельными автомобилями²⁵.

В более тяжелых сегментах транспорта аккумуляторные решения пока не выглядят столь привлекательно из-за большой массы и габаритов аккумуляторов, необходимых для поддержания длительной работы двигателей тяжелых транспортных средств; длительного времени зарядки этих аккумуляторов и значительных затрат на развитие соответствующей зарядной инфраструктуры.

В дальнейшем при переходе к широкому использованию водородных грузовиков существующие заправочные станции могут потребовать расширения и адаптации.

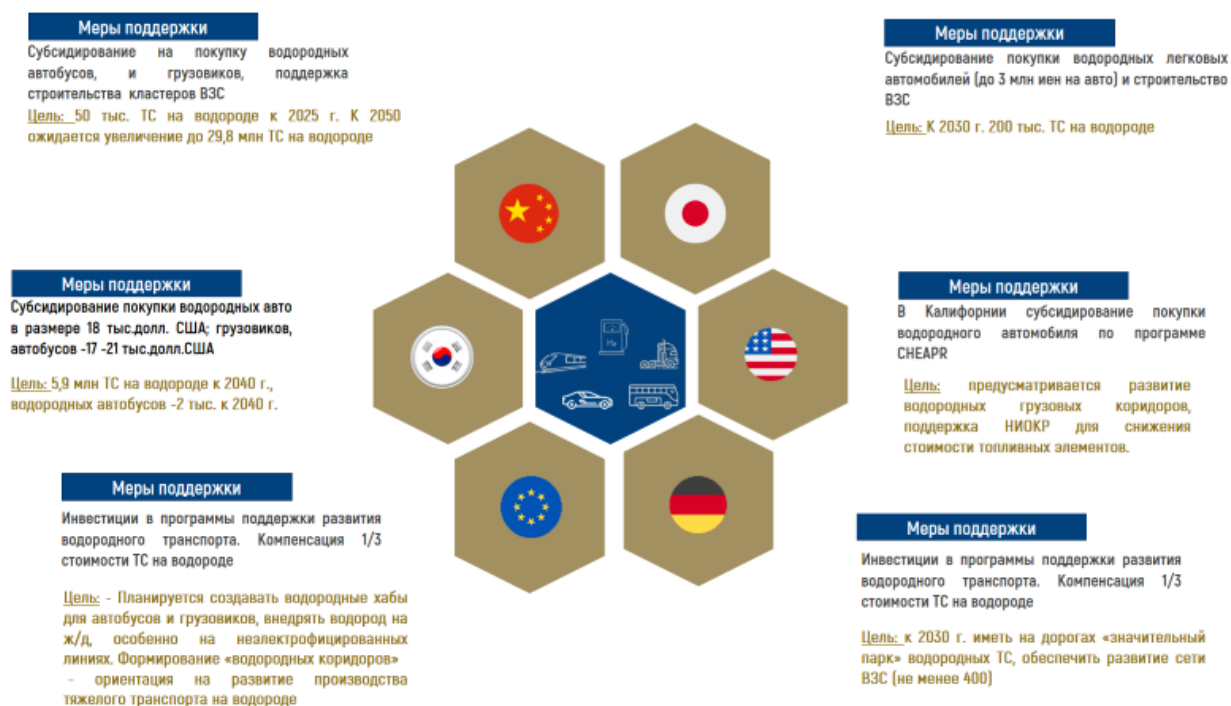
²⁴ <https://www.un.org/>

²⁵ DNV GL. Energy Transition Outlook 2023: Transport in Transition. <https://www.dnv.com/Publications/transport-in-transition-242808>

Общая черта принятых стратегий - признание водородного транспорта частью решения проблемы выбросов от тех секторов, где прямой переход на электрифицированный транспорт затруднён. Установка целевых показателей (тысяч автомобилей, сотен станций) помогает направить инвестиции и измерить прогресс развития технологий в мировых регионах.

Лидерами по конкретике планов и стратегий являются Япония, Корея, Китай – они задали количественные ориентиры. Европейские планы более качественные (в процентах и принципах) (рисунок 4).

Рисунок 4 – Примеры стратегических ориентиров и мер поддержки по развитию водородного транспорта в странах мира



Европейский Союз (ЕС). Еврокомиссией в июле 2020 г. утверждена Европейская водородная стратегия, нацеленная на установку 6 ГВт электролизёров к 2024 г. и 40 ГВт к 2030 г., а также на производство к 2030 г. до 1 млн тонн «возобновляемого водорода» ежегодно. Несмотря на то, что основные акценты стратегии сделаны на промышленности и энергии, транспорт также упоминается. ЕС планирует создать водородные хабы для автобусов и грузовиков, внедрять водород на железных дорогах, особенно на неэлектрифицированных линиях.



В законодательном пакете «Fit for 55» (2021) содержится предложение об обязательствах о развитии применения топлива с содержанием водорода/аммиака для авиа и морского транспорта.

В ЕС принят закон «Регулирование инфраструктуры альтернативных видов топлива» (AFIR), которым предусмотрено размещение водородных заправочных станций через каждые 200 км вдоль Трансъевропейской транспортной сети, что позволит ввести более 400 ВЗС до 2030 г.²⁶

Также есть программы финансирования (Clean Hydrogen Partnership) для демонстрационных проектов в сфере транспорта.

Германия. В 2020 г. принята Национальная водородная стратегия Германии, которая содержит меры, нацеленные на развитие производства водорода, в том числе водородного транспорта. Стратегия ставит цель к 2030 г. иметь на дорогах «значительный парк» водородных ТС (конкретное число не указано), обеспечить развитие сети ВЗС (не менее 400 станций). В 2023 г. стратегия была обновлена, подтвердив приверженность водороду, особенно для тяжёлых автомобилей, авиа и судоходства.

Япония. Одна из первых стран, принявших водородную стратегию. Основная стратегия по водороду и топливным элементам разработана ещё в 2017 г., обновлена в 2019 г. и 2023 г. Япония является одним из мировых лидеров в сфере водородного производства. В соответствии с обновленной Водородной стратегией Японии предполагается увеличение парка пассажирских автомобилей с водородными топливными элементами до 800 тысяч к 2030 г.²⁷

Япония субсидировала покупку водородных легковых автомобилей (до 3 млн иен на авто) и строительство водородных станций. Правительство стимулировало разработку автобусов на топливных элементах (модель Toyota Sora используется в Токио).

Южная Корея. В январе 2019 г. принята Дорожная карта водородной экономики Южной Кореи. Страна обозначила высокие ориентиры: 5,9 млн водородных автомобилей к 2040 г., водородных автобусов 2 тыс. к 2040 г., а число ВЗС – 310 к 2040 г. Эти цели подкреплены «Водородным законом» (Hydrogen Law 2020).

Южная Корея инвестирует крупные суммы: например, на 2021–2025 гг. зарезервировано около 2,3 млрд долл. США на водородную инфраструктуру и транспорт.

На сегодняшний день Корея – одна из самых прогрессивных стран по темпам внедрения водородного транспорта.

²⁶ <https://www.evchargerpile.com/ru/news-detail-4243049>

²⁷ <https://decarbon.ru/wp-content/uploads/2022/09/стр.22>



Программа перехода к «водородному обществу», утверждённая в Южной Корее позволила запустить производство водородных поездов. Аналогичные поезда уже курсируют в Германии, Нидерландах, а в 2026 г. АО «Трансмашхолдинг» в кооперации с «Росатомом» планирует запустить водородные локомотивы на Сахалине.

США. На федеральном уровне в июне 2023 г. опубликована Национальная водородная стратегия и дорожная карта. США делают упор на создание водородных хабов – региональных кластеров производства и использования водорода, финансирование которых (в размере \$8 млрд) заложено в закон об инфраструктуре 2021 г.

Для транспорта стратегия предусматривает развитие водородных грузовых коридоров, поддержку НИОКР для снижения стоимости топливных элементов. Отдельных количественных целевых показателей по числу авто федеральная стратегия не ставит, но указывает на инициативы штатов.

Так, Калифорния имеет собственный план (California Fuel Cell Revolution, 2018) – около 1 млн водородных транспортных средств к 2030 г. Калифорния через агентство CARB субсидирует водородную инфраструктуру (более \$200 млн инвестировано в 2010-х, результатом является действие порядка 74 ВЗС в штате на конец 2024 г.

В 2022 г. Министерство энергетики США запустило программу Hydrogen Shot – цель снизить стоимость «зелёного» водорода до \$1 за 1 кг в течение 1 десятилетия – для достижения экономической конкурентоспособности H₂-решений, включая транспорт.²⁸ Кроме того, большие автопроизводители в США (GM, Ford) пока скептически к легковым FCEV и больше сосредоточены на электромобилях, но поддерживают водород для грузовиков (совместные проекты – например, GM поставляет водородные системы для тягачей Navistar, Toyota – для Kenworth, Cummins).

Китай. В марте 2022 г. Правительство КНР опубликовало Средне - и долгосрочный план развития водородной энергетики (2021–2035). Это первый крупный стратегический документ Китая по водороду. Он обозначает водород как часть энергоперехода и ставит конкретные цели на 2025 г.: производство «зелёного» водорода 100–200 тыс. тонн в год, и наличие около 50 тыс. водородных транспортных средств на дорогах к 2025 г.²⁹ На 2035 г. ставится задача значительно увеличить долю водорода в энергобалансе (цифры не указаны), с прицелом на углеродную нейтральность к 2060 г. В дополнение к общегосударственному плану, более 30

²⁸ <https://renen.ru/>

²⁹ https://www.ndrc.gov.cn/xxgk/jd/zctj/202203/t20220323_1320046.html?code=&state=123



регионов и городов Китая утвердили собственные дорожные карты по водороду, зачастую с ориентацией на транспорт. Например, Пекин, Шанхай, провинции Гуандун, Хэбэй субсидируют покупку водородных автобусов и грузовиков, строят ВЗС. На национальном уровне Китай вводит льготы – освобождение водородных транспортных средств от НДС.

Также Китай включил водород в планы развития инфраструктуры («Новые инфраструктурные инициативы»).

В результате данных действий Китай стал ведущим по числу новых проектов: ожидается, что цель 50 тыс. FCEV к 2025 г. будет достигнута, поскольку уже к 2023 г. парк превысил 7 тыс., в основном за счёт автобусов и грузовиков. Кроме того, Китай активно развивает производство топливных элементов и электролизёров – к 2024 г. более 300 компаний задействованы в цепочке производства водородного транспорта.

Другие страны и регионы.

Великобритания делает ставку на развитие водородных автобусов и грузовиков. Запущены демонстрационные маршруты водородных автобусов в Лондоне, Бирмингеме; планируется к 2030 г. около 300 автобусных водородных маршрутов.³⁰

Франция приняла в 2020 г. «Plan Hydrogène» с выделением инвестиций в размере 7 млрд евро до 2030 г. Фокус – водород для промышленности и тяжёлого транспорта. Цель – 20 тыс.–50 тыс. водородных автомобилей к 2028 г., в т.ч. развивать производство водородных коммерческих фургонов (совместное предприятие Plug Power и Renault – компания HYVIA уже выпустила первые фургоны на топливных элементах). Франция также заказала у производителя Alstom водородные поезда и инвестирует в установку до 100 ВЗС к 2030 г.

Скандинавия активно внедряет водородные автобусы (Осло, Копенгаген) и грузовые автомобили (пилоты в Дании, Швеции). Кроме того, Норвегия тестирует водородные паромы (проект Hydra). Их стратегии являются частью общей политики декарбонизации транспорта к 2030–2040 гг. в ЕС.

Канада имеет стратегию (Hydrogen Strategy for Canada, 2020) с упором на производство чистого водорода и его экспорт, но также поддерживаются проекты водородного общественного транспорта, например, в провинции Британская Колумбия работают водородные автобусы и легковые FCEV (Mirai) освобождены от налогов.

Австралия рассматривает водород преимущественно как экспортный энергоноситель, однако в рамках государственных программ несколько городов

³⁰ <https://abs-txt.github.io/auto/330.html>



(Аделаида, Перт) запускают водородные автобусы, и страна планирует создать инфраструктуру в портах для судов на водородном топливе.

На сегодня проекты в сфере водородного транспорта по всему развиваются неравномерно, ввиду наличия проблем с инфраструктурой и стоимостью водорода.

В 2024 г. объем рынка транспортных средств на водородных топливных элементах оценивался в 1,63 млрд долл. США и к 2029 г. может достигнуть 37,65 млрд долл. США, при этом среднегодовой темп роста составит 47,5% в прогнозируемый период (2024–2029 гг.).³¹

Согласно оценкам аналитиков, в 2024 г. отмечены тенденции по снижению продаж водородных автомобилей, что связано, в первую очередь, с неразвитостью водородной заправочной инфраструктуры. Максимум продаж FCEV был зарегистрирован в 2022 г., начиная с 2023 г. продажи падают на 20,6%, и на 21,6% в 2024 г.

Продажи FCEV упали на всех основных рынках, кроме Японии. Южная Корея заняла второе место по продажам, несмотря на их падение на 20,4%. В 2019 г. было запланировано, что к 2040 г. в Южной Корее будет произведено 6,2 млн водородных автомобилей, из которых 2,9 будут использоваться внутри страны, а 3,3 млн — экспортированы. По состоянию на 2024 г. продажи водородных автомобилей в Корее составили всего 3688 штук.³² Основные причины падения продаж сводятся к нехватке зарядной инфраструктуры, стоимости производства и хранения водорода, а также высокой стоимости самих машин.

Лидерство по развитию водородных технологий на транспорте принадлежит странам, которые уделяют значительное внимание климатической повестке и поиску новых энергоэффективных решений. К таким странам относятся: Китай, Южная Корея, США, Япония, страны Европейского союза, Великобритания.

Наибольший уровень выбросов CO₂, согласно данным Международного энергетического агентства, приходится на грузовики и легковые автомобили (рисунок 5).

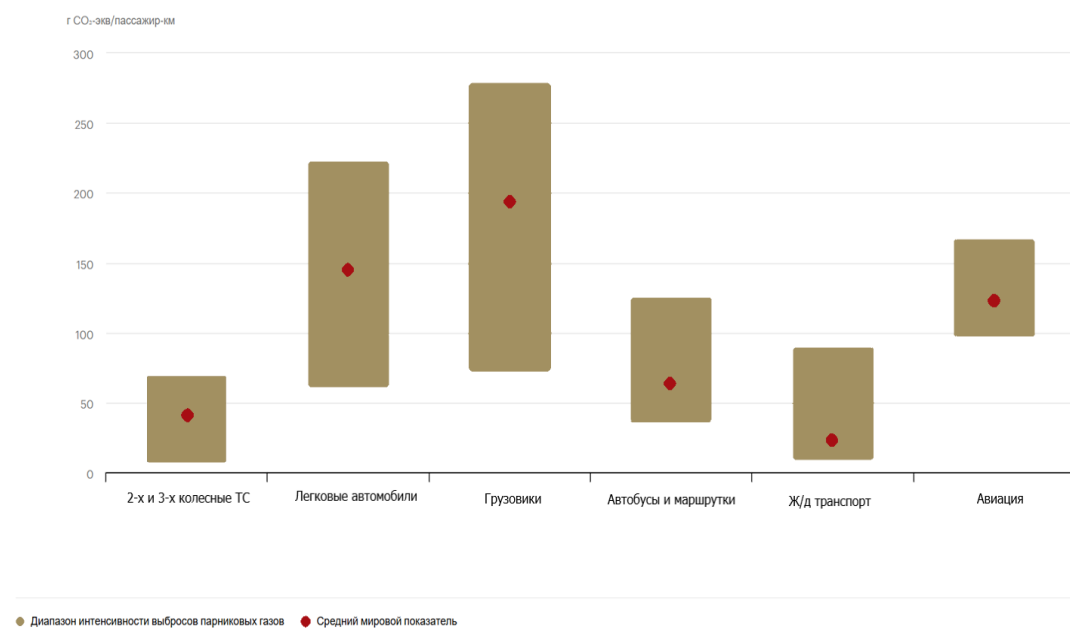
В 2025 г. вступит в силу первый пакет стандартов Европейского союза, сильно ограничивающий выбросы CO₂, что может оказать стимулирующее влияние на развитие водородного транспорта.

³¹ <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/hydrogen-fuel-cell-vehicle-market>

³² <https://www.sneresearch.com/en/>



Рисунок 5 - Интенсивность выбросов парниковых газов различными видами пассажирского транспорта³³



В настоящее время Южная Корея и Япония лидируют на рынке легких транспортных средств, работающих на водороде (около 65% нынешнего парка легковых автомобилей), а Китай - на мировом рынке водородных грузовых автомобилей и автобусов (около 95% и 85% соответственно на каждом рынке).

В Китае основным драйвером роста потребления водорода до 100 млн тонн к 2050 г. является использование водородного транспорта.

Согласно данным Hydrogen Council, в 2024 г. в мире количество моделей автобусов и грузовиков, работающих на водороде, превысило 130 машин. Большинство транспортных средств, работающих на водороде – это электромобили на топливных элементах (FCEV), однако продолжается разработка силовых агрегатов, работающих на водороде.³⁴

Внедрение инфраструктуры водородной заправки продолжает ускоряться в Китае и Южной Корее, но в Европе и Северной Америке наблюдается стагнация.

В настоящее время по всему миру функционирует порядка 1160 ВЗС. Крупнейшими рынками сбыта являются Китай, Япония и Южная Корея, за которыми следует Европа. В Европе и Северной Америке в прошлом году наблюдалась тенденция к сокращению числа водородных заправочных станций, что привело к сокращению числа работающих ВЗС.

³³ Данные Международного энергетического агентства (IEA, 2022)

³⁴ Hydrogen Insights September 2024, Hydrogen Council, McKinsey & Company



Южная Корея и Япония планируют расширить свои сети до более чем 600 станций каждая к 2030 г., что может удвоить количество ВЗС в Азии.

Чтобы распределить усилия и финансирование новых разработок в сфере водородного автомобилестроения в мире начали формироваться необычные альянсы, например, по созданию коалиции автоконцернов Daimler Truck AG и Volvo Group. Владельцы таких брендов, как Mercedes-Benz, Freightliner, Western Star, Mitsubishi Fuso, Volvo Trucks, Renault Trucks и UD создают совместное предприятие с равным распределением акций, при этом оставаясь конкурентами в других областях автобизнеса.³⁵

Новое предприятие станет специализироваться только на водородо- и электромобилях и производстве H₂-топливных элементов. Это позволит снизить затраты на разработку компонентов. Центр сотрудничества будет базироваться в Европе, а производимые на совместных предприятиях водородные системы могут работать как на европейских грузовиках Mercedes-Benz, так и на американских Freightliners или японских Mitsubishi-Fuso, аналогичная ситуация и для американских брендов Volvo Trucks.

Daimler Truck AG передаст в новый проект свою дочернюю компанию Mercedes-Benz Fuel Cell GmbH, которая уже несколько лет занимается разработкой систем хранения водорода и технологией H₂ топливных элементов. Этот альянс позволил Daimler AG в апреле 2020 г. закрыть программу разработки легковых автомобилей на водороде и перебросить силы на улучшение легковых электромобилей.

В Швейцарии набирает силу водородный тренд, развернувшийся на фоне строительства целой сети ВЗС. Параллельно с их созданием начался перевод автопарков на водородный транспорт.

Производство топлива уже организовано инженерной фирмой Haas Engineering GmbH & Co. KG. Установка уже работает на одной швейцарской ГЭС.

Одним из основных популяризаторов водородной технологии стал ретейлер Coop Group – второй после Migros владелец товаропроводящей сети магазинов в Швейцарии. Компания приобрела 6 электрогрузовиков на водороде.

Для лучшего понимания тенденций развития водородного транспорта в мире необходимо детально рассмотреть его отдельные разновидности.

³⁵https://www.akm.ru/news/volvo_group_i_daimler_truck_ag_podpisali_obyazyvayushchee_soglashenie_o_sozdanii_sovmestnogo_predpri/



2.1 Легковые автомобили

Совокупные продажи электромобилей на топливных элементах (FCEV) по состоянию на май 2024 г. составили около 90 000 единиц.³⁶

Согласно исследованию Polaris Market Research, объем рынка автомобилей на водородных топливных элементах достигнет 170,74 млрд долл. США к 2034 г.

Лидерами в создании новой индустрии водородомобилей являются Япония и Республика Корея на них приходится большая часть мировых производственных мощностей в этой сфере. Автоконцерны Toyota и Hyundai лидируют в серийном производстве пассажирских электромобилей на топливных водородных ячейках.

На мировом рынке представлены массовые модели Toyota Mirai, Honda Clarity и Hyundai Nexo. Все три легковых автомобиля в большинстве повторяют технические характеристики базовых моделей автоконцернов, а их суммарный объем производства превысил отметку в 95 тыс. штук.³⁷

Несколько компаний планируют увеличить производственные мощности и сделать значительные инвестиции в коммерциализацию автомобилей на топливных элементах. Hyundai, например, планирует потратить 6,7 млрд долл. США на улучшение характеристик топливных элементов, удвоив производственные мощности более чем в 200 раз к 2030 г.³⁸

Среди стран ЕАЭС рабочий прототип представлен российским концерном Augus, модель Senat схожа с бензиновыми вариантами, но не производится серийно.

Стоит отметить, что стимулирование продаж водородных автомобилей является главной основой для их продаж.

В Калифорнии Mirai продавался со скидкой 65% от первоначальной стоимости. Toyota дает скидку в размере 20 тыс.долл.США в дополнение к федеральным и местным налоговым льготам, которые составляют дополнительно 12,5 тыс. долл. США. В результате Mirai, цена которого по прейскуранту превышает 50 тыс. долл. США, доступен в США по цене менее 18 тыс. долл. США. Вдобавок Toyota предлагает «топливный пакет» на сумму 15 тыс. долл. США на первые три года эксплуатации.³⁹

Похожая ситуация складывается с Hyundai. Из 9620 автомобилей Hyundai NEXO, проданных по всему миру в 2021 г., 88% приходится на Южную Корею.

³⁶ Hydrogen Insights September 2024 Hydrogen Council, McKinsey & Company

³⁷ Отчет SBS Consulting «Перспективы развития экспорта российских технологий для водородной энергетики», 2024

³⁸ <https://exactitudeconsultancy.com/ru/reports/14020/hydrogen-vehicle-market#request-a-sample>

³⁹ <https://www.idtechex.com/en/research-report/hydrogen-internal-combustion-engines/1030>



Продажа каждого NEXO стоимостью 60 тыс.долл.США поддерживается субсидией около 30 тыс.долл.США⁴⁰



2.2 Пассажирская техника (автобусы)

В 2024 г. водородные автобусы – это ещё небольшие по численности, но значимые с точки зрения технологического прогресса и опыта эксплуатации решения. Их преимуществами являются нулевые выбросы, большой пробег, быстрая заправка. По мере увеличения масштабов производства и снижения стоимости водорода этот сектор будет динамично расти.

Рынок водородных автобусов в настоящее время находится в стадии формирования. По состоянию на 2024 г. в мире производятся и эксплуатируются несколько моделей водородных автобусов, их суммарный автопарк составляет более 500 единиц (подробная информация по производителям указана в таблице 2).⁴¹

В связи с масштабным внедрением электробусов водородные автобусы могут стать хорошим дополнением к дорогам и маршрутам, где инфраструктура для быстрых зарядок затруднена или требуются длинные маршруты без длительных остановок.

Таблица 2 – Основные производители водородных автобусов в мире⁴²

Страна	Производитель	Особенности развития
Азиатские производители		
 Япония	Toyota	Модель Sora эксплуатируется в Токио. Компактные топливные элементы, интеллектуальная система управления энергией.
 Южная Корея	Hyundai	ElecCity Fuel Cell Bus поставляется в корейские города, внедряются проекты по расширению парка. Запас хода 600 км, система рекуперации энергии, модульная конструкция.
 Китай	Yutong, T.KING	Выпускает водородные автобусы с дальностью хода 500 километров.
	Zhongtong Bus Holding Co., Ltd.	Выпускает автобусы нового поколения на водородных топливных элементах.
	BYD	BYD H2. Низкая стоимость, запас хода 500 км, адаптация к экстремальным температурам.
	Foton Motor	Foton BJ6123 Hydrogen с высокой вместимостью (до 80 пассажиров), быстрая заправка (10 минут).

⁴⁰ <https://www.idtechex.com/en/research-report/hydrogen-internal-combustion-engines/1030>

⁴¹ Отчет SBS Consulting «Перспективы развития экспорта российских технологий для водородной энергетики», 2024

⁴² Информация подготовлена на основе официальных сайтов производителей водоробусов



Европейские производители		
Великобритания 	Wrightbus	Известна моделью водородного двухэтажного автобуса, применяемого в Лондоне и других городах.
ЕС 	Германия Mercedes-Benz (Daimler)	eCitaro Fuel Cell с гибридной системой (водород + батарея) и запасом хода 550 км, низким уровнем шума.
	Польша Solaris	Solaris Urbino Hydrogen – популярная модель водородного автобуса, уже работающая в нескольких европейских городах.
	Бельгия Van Hool	Производит водородные автобусы для европейских перевозчиков, участвует в крупных проектах ЕС.
	Франция Safran	H2 City. Рециркуляция тепла для обогрева салона, запас хода 450 км.
	Португалия CaetanoBus	Водородный автобус H2City Gold создан в партнерстве с Toyota.
США и Канада		
США 	Proterra	Более известна своими батарейными автобусами, рассматривает и водородные решения, сотрудничая с поставщиками топливных элементов (Ballard).
	New Flyer	Предлагает линейку водородных автобусов и участвует в проектах с калифорнийскими операторами общественного транспорта. Вместимость до 60 пассажиров, адаптация для холодного климата (до -40°C).
Канада 	Ballard Power Systems	FCmove-HD Универсальная платформа для интеграции в автобусы разных производителей.
ЕАЭС		
Российская Федерация 	КАМАЗ	Имеются прототипы автобусов с запасом хода 400 км.
	Волгабас	Разрабатывается прототип автобуса, запасом хода 380 км.
	Объединенный инженерный центр (группа ГАЗ)	Прорабатывается возможность применения водородного двигателя на моделях ПАЗ Citymax 9 и Газель City.

В настоящее время некоторые города стран мира комбинируют водородные и батарейные электробусы, исходя из логистики маршрутов: электробусы для коротких городских линий, водоробусы для более длинных междугородних или холмистых маршрутов, где важна постоянная мощность и большая автономность.

Подобное решение можно использовать и для развития водородных автобусов в государствах-членах ЕАЭС, учитывая климатические особенности каждой страны и действующую дорожную инфраструктуру.



В регионах с холодным климатом (северные регионы России, Казахстана) водородные автобусы могут показать преимущества благодаря стабильному запасу хода, не зависящему от понижения ёмкости батарей при минусовых температурах.

По данным Deloitte, при снижении температуры с +15 °C до -15 °C запас хода легкового электробуса сокращается с 283 до 207 км. Анализ эксплуатационных показателей восьми парков водородных и аккумуляторных электробусов в США показывает, что при изменении температуры с 10-15°C до -5-0°C потеря дальности хода электробусов более значительна, чем у водоробусов (37,8% против 23,1%).⁴³

В горных районах государств-членов, где автобусам требуется постоянная мощность при подъёме на склоны, водородные решения могут быть предпочтительнее за счёт стабильной выдачи энергии топливными элементами.

В перспективе присутствие водородной техники – это и инвестиции в локальную водородную экономику: производство, хранение, транспортировку водорода и создание новых рабочих мест.

Разработка единых стандартов для водородной инфраструктуры: давление, тип соединения, заправочные протоколы (похожи на те, что применяются к легковым FCEV, но со спецификой для высоких объёмов, нужных автобусам).

Водородные автобусы, как и электробусы на батареях, очень тихие и вибраций меньше, чем у дизельных. Это повышает комфорт пассажиров и снижает шумовое загрязнение в городах. Тишина может играть роль не только в комфорте, но и в имидже города, стремящегося к «тихому» и «чистому» общественному транспорту.

Преимуществами водородных автобусов (таблица 3) является отсутствие зависимости от заправочных станций на заданном маршруте в связи с длительным пробегом более 500 км, что позволяет уменьшить количество водородных заправочных станций на трассе. По сравнению с электробусами, требующими установки заправочных станций каждые 100 км водородное решение выглядит более экономичным

Таблица 3 – Преимущества и проблемы водородных автобусов

Преимущества водородных автобусов	Проблемы и вызовы
✓ Длинный пробег и быстрота заправки: Водородный автобус может проехать 500 км и более (в зависимости от разработанной модели) на одной заправке. Заправка занимает 10–15 минут, что сопоставимо с дизельными аналогами и существенно меньше, чем зарядка батарейного автобуса.	✓ Высокая стоимость и ограниченная инфраструктура: В 2024 г. стоимость водородного автобуса всё ещё на 50–100% выше дизельного или даже батарейного. Также необходимо построить водородные заправочные станции, что требует значительных инвестиций. ✓ Стоимость «зелёного» водорода: Цель – использовать водород из возобновляемых

⁴³ Deloitte & Ballard, 2020



✓ Отсутствие локальных выбросов: Только водяной пар на выходе. Это улучшает качество воздуха, важно для густонаселённых городов. ✓ Возможность интеграции в водородную экосистему: если город развивает водородную инфраструктуру и для других применений (грузовой транспорт, станции хранения энергии), автобусы становятся элементом комплексного решения.	источников. Пока его цена высока, логистика сложна, что делает экономику водоробусов менее привлекательной без субсидий. ✓ Технологические вопросы: Долговечность топливных элементов, надёжность в экстремальных условиях, стандарты безопасности и обслуживания пока прорабатываются.
---	---

Кроме того, пассажирскому транспорту на водороде не нужны дополнительные двигатели внутреннего сгорания для обогрева салона, что говорит об отсутствии углеродного следа во время движения. Водоробусы не перегружают местные электросети, заправляются как классические автобусы с ДВС и в целом позволяют сократить количество автобусов на маршруте за счет более долгого пробега на одной заправке. Безопасность технологии подтверждена опытной эксплуатацией: например, в Лондоне такой общественный транспорт используют с 2022 г.⁴⁴

Баки с водородом обычно хранятся на крыше автобуса, а топливный элемент и электродвигатель располагаются в задней части автобуса. Аналогично легковым моделям, водоробусы не отличаются от бензиновых аналогов по техническим характеристикам (рисунок 6).

Рисунок 6 – Устройство водородного автобуса⁴⁵



Для долгосрочного планирования распространения водоробусов следует предусматривать создание «зелёных» водородных хабов, где водород будет производиться на местах с помощью электролизёров и возобновляемой энергии, что уменьшит зависимость от транспортировки водорода и снизит затраты.

Для понимания уровня развития водородной пассажирской техники необходимо рассмотреть тенденции развития водоробусов с разбивкой по мировым регионам.

⁴⁴ <https://www.eastrussia.ru/material/stechenie-vodorodnykh-obstoyatelstv/>

⁴⁵ <https://www.fuelcellbuses.eu/>



Тенденции развития водробусов с разбивкой по мировым регионам

Европейский союз

К 2030-м годам планируется значительное расширение числа водородных автобусов. Например, в Европе существуют цели вывести тысячи водородных автобусов на дороги, снижая стоимость за счёт объёмов производства и развитой водородной инфраструктуры (AFIR – Regulation on Alternative Fuels Infrastructure).

Европейский Союз выделяет субсидии и гранты через фонды, такие как Fuel Cells and Hydrogen Joint Undertaking, способствуя росту выпуска водородных автобусов. Цель данных инструментов масштабировать автобусный парк до нескольких тысяч единиц к концу десятилетия. На сегодняшний день многие европейские города тестируют водородные автобусы для перехода к безэмиссионному общественному транспорту, особенно на большие расстояния и в условиях холодного климата, где использование электробусов менее эффективно.

Ведётся также активное внедрение водородных автобусов через проекты, финансируемые через программы Европейского союза: JIVE, JIVE2, H2Bus Europe. К 2024 г. в европейских городах суммарно развернуто порядка нескольких сотен водородных автобусов. Например, города в Германии (Кёльн, Вупперталь, Росток), Великобритании (Абердин, Лондон), Дании, Нидерландах, Италии, Франции уже используют десятки единиц, стремясь довести парк к середине декады до сотен штук.

Городские операторы активно закупают автобусы на водороде для своих парков. Например, Rebus Regionalbus Rostock GmbH расширила свой парк общественного транспорта в Росток (Германия), добавив 52 автобуса Solaris на водородных топливных элементах. Около 30 таких автобусов уже находятся в эксплуатации, пройдя в общей сложности более 150 000 км и продемонстрировав высокую надежность даже в условиях низких температур.⁴⁶

Азия

В Азии страны с амбициозными водородными планами (Япония, Южная Корея) будут стимулировать развитие рынка.

В 2024 г. количество водородных автобусов в Азии постепенно увеличивается, но пока не достигает тысяч.

Правительство Японии стремится создать водородную инфраструктуру не только для легковых авто, но и для общественного транспорта, рассматривая FCEV как элемент «водородного общества». Модель автобусов Toyota Sora активно применяется в Токио и поддерживается национальной водородной стратегией. В

⁴⁶ <https://fuelcellsworld.com/2025/03/26/fuel-cells/rebus-elevates-green-mobility-in-germany-with-52-new-solaris-hydrogen-buses>



Токио к Олимпиаде 2021 были введены в эксплуатацию десятки автобусов Toyota Sora.

Южная Корея развивает пилотные парки водородных автобусов. Hyundai продвигает водоробусы ElecCity Fuel Cell, правительство субсидирует покупку водородных автобусов и развитие H₂-заправок.

Китай доминирует в электробусах на батареях, но водородные автобусы тоже внедряются, хотя и в гораздо меньшем масштабе. В отдельных регионах (например, в провинции Гуандун или городах, участвующих в пилотных водородных проектах) есть десятки водородных автобусов.

Компания Zhongtong реализовала крупнейшее демонстрационное применение автобусов на водородных топливных элементах в Китае. Во время зимних Олимпийских игр 2022 г. в Пекине было введено в эксплуатацию в общей сложности 1000 автобусов на водородных топливных элементах, что благоприятно сказалось на степени доверия населения к технологии.

США и Канада

Основные инициативы по развитию водородных автобусов приходится на гранты и инициативы государственных органов Министерства энергетики США (DOE) и Калифорнийского совета по воздушным ресурсам (CARB). В дальнейшем планируется расширять пилотные проекты, по мере реализации программ федеральной поддержки декарбонизации транспорта.

В Северной Америке водородные автобусы используются в основном на западном побережье США (Калифорния) и в отдельных канадских проектах. По состоянию на 2024 г. их количество не превышает десятков единиц.

ЕАЭС

На евразийском пространстве водородный пассажирский транспорт в настоящем времени не используется на дорогах.

Однако Российской Федерацией проводится работа по созданию пилотных проектов и образцов водородных автобусов: компанией Volgabus разрабатывается прототип с запасом хода 380 км. КАМАЗОМ созданы пилотные образцы автобуса на топливных водородных элементах. Объединенным инженерным центром (группа ГАЗ) прорабатывается возможность применения водородного двигателя на моделях ПАЗ Citymax 9 и Газель City.

В Республике Беларусь ОАО «Белкоммунмаш холдинг» рассматривает в перспективе возможность создания прототипа водородного автобуса, но исследования и разработки в настоящее время не проводятся.



Согласно Концепции по развитию водородной энергетики в Республике Казахстан до 2030 г. планируется внедрение водородных автобусов в не менее 3-х городах к 2030 г.

Таким образом можно заключить, что глобальный парк водородных автобусов в настоящее время ограничивается небольшим количеством экземпляров, которые рассредоточены по пилотным проектам и первым коммерческим маршрутам.

Для широкого распространения городской пассажирской техники на водороде необходимо учитывать ряд нюансов:

1. Необходимость подготовки кадров.

Внедрение водородных автобусов требует подготовки технического персонала. Механики, обслуживающие дизельные или даже батарейные электробусы, сталкиваются с новыми технологиями топливных элементов, водородных систем, которые работают под высоким давлением и нуждаются в особых мерах безопасности.

Также потребуется дополнительный инструктаж для водителей: хотя в управлении принципиальных отличий мало, однако необходимо знание правил безопасности при заправке водородом, понимание специфики работы топливных систем.

2. Создание налаженной сервисной инфраструктуры.

Топливные элементы имеют свои нюансы: их срок службы, необходимость поддержания определённой чистоты водорода, контроль влажности и температуры. В условиях регулярной городской эксплуатации это требует налаженной сервисной инфраструктуры.

Также потребуется адаптировать график техобслуживания под водородную специфику, предусмотреть склад запчастей и расходных материалов (мембраны, компрессоры, фильтры).

3. Создание безопасного «имиджа» водородного транспорта.

Несмотря на прогресс в технологиях и строгие стандарты безопасности, общественное восприятие и коммуникация – важный фактор. Городские власти и операторы общественного транспорта должны информировать пассажиров о безопасности, надёжности систем. Современные водородные баки из композитных материалов проходят интенсивные краш-тесты, испытания при высоких температурах и ударах. Но для широкой поддержки важно прозрачное информирование и опыт безаварийной эксплуатации.

4. Логистика поставок запчастей и материалов для ТО.

Производство топливных элементов и их компонентов пока сосредоточено у ограниченного числа поставщиков. При расширении рынка понадобится развивать



цепочки поставок, локализовать производство, чтобы снизить зависимость от импорта и логистических рисков. Современные водородные автобусы оснащаются телематическими системами для мониторинга состояния топливных элементов, расхода водорода, диагностики в реальном времени. Аналитика данных поможет оптимизировать эксплуатацию, улучшать маршрутизацию, планировать заправки и ТО.

5. Возможность разработки гибридных решений. Некоторые производители могут рассмотреть гибриды: водородный автобус с небольшой батареей, чтобы оптимизировать расход водорода, смягчать пиковые нагрузки и повысить общую эффективность. Такие варианты могут появиться по мере накопления опыта, чтобы сократить эксплуатационные издержки. Использование водорода не обязательно полностью исключает электричество из батарей: в переходный период возможно появление автобусов с топливным элементом + батарея, что позволит адаптироваться под разные маршруты. Крупные автоконцерны могут объединяться в консорциумы для совместной разработки водородных решений, стандартизации компонентов, обмена ноу-хау. Это ускорит выход на массовый рынок и снизит цены.

Водородные трамваи

Одновременно с развитием водородных автобусов в мире зарождается производство водородных трамваев. 10 трамваев на водородных топливных элементах уже курсируют в Китае, совершено несколько поставок таких трамваев в Турцию. В Корее запущен в коммерциализацию в 2024 г. трамвай на водородных топливных элементах Hyundai Rotem.

В России, организация СПб ГУП «Горэлектротранс» модернизировала существующую модель трамвая для использования на водородных топливных элементах, и трамвай успешно прошел опытную эксплуатацию в рамках городских условий, но не был запущен в серию.⁴⁷

⁴⁷ Исследование SBS Consulting «Перспективы развития экспорта российских технологий для водородной энергетики», 2024



2.3 Тяжелые грузовики

Тяжелые грузовики играют значительную роль в мировой экономике. По оценкам IRENA, с 2010 г. объем грузов, перевезенных этим видом транспорта, увеличился более чем на 30%.⁴⁸

В 2022 г. выбросы CO₂ от тяжелых грузовиков составили 5% мировых выбросов CO₂, что больше, чем выбросы международной авиации и судоходный сектор вместе взятые.⁴⁹

Правительства и регулирующие органы по всему миру внедряют строгие стандарты выбросов для борьбы с изменением климата и сокращения выбросов парниковых газов, что увеличивает инвестиции в развитие инфраструктуры. Традиционные грузовики на дизельном топливе вносят значительный вклад в загрязнение воздуха, побуждая мировое сообщество содействовать разработке экологических альтернатив.

Грузовики на водороде, которые производят только водяной пар в качестве побочного продукта, становятся ключевым решением для выполнения этих нормативных требований и является критическим фактором, стимулирующим инвестиции в технологию и инфраструктуру грузовиков на водороде.

Водородные грузовики имеют огромный потенциал за счет технологии топливных элементов, обеспечивая увеличенный запас хода и возможности быстрой заправки (Рисунок 7).

Одной из основных проблем, препятствующих внедрению водородных грузовиков, является их высокая начальная стоимость. Дорогая технология топливных элементов и специализированные системы хранения водорода способствуют большим первоначальным инвестициям, необходимым для водородных грузовиков. Несмотря на это, использование водородных грузовиков может обеспечить экономию эксплуатационных расходов в долгосрочной перспективе, высокая стоимость владения остается препятствием.⁵⁰

⁴⁸ IRENA «Decarbonizing hard-to-Abate sectors with Renewables\$ Perspectives for the G7», 2024

⁴⁹ IEA, 2022

⁵⁰ <https://www.giiresearch.com/report/grvi1678508-hydrogen-truck-market-size-share-trends-analysis.html>



Рисунок 7 – Преимущества водородных грузовиков



В настоящее время конструкции водородных грузовиков все время совершенствуются. Производители фокусируются на оптимизации мощности двигателя и размеров бака, чтобы удовлетворить разнообразные требования к дальности: от коротких городских доставок до длительных пересеченных дорог. Интеграция современных материалов в водородные баки и системы топливных элементов повышает безопасность, долговечность и общую производительность, которые являются критическими факторами рыночной конкурентоспособности.⁵¹

Технологические достижения в области технологии водородных топливных элементов значительно улучшили производительность, эффективность и экономичность систем топливных элементов, решая такие проблемы, как плотность энергии, долговечность и масштабируемость. Одним из ключевых достижений является повышение плотности энергии, что позволяет топливным элементам вырабатывать больше энергии относительно их размера. Это привело к созданию более компактных систем, которые можно интегрировать в существующие платформы грузовиков без ущерба для грузоподъемности или эксплуатационной эффективности. Эти усовершенствования делают грузовики на водородном топливе

⁵¹ <https://www.giiresearch.com/report/grvi1678508-hydrogen-truck-market-size-share-trends-analysis.html>



более практичной альтернативой традиционным транспортным средствам с двигателем внутреннего сгорания в коммерческом и промышленном применении.

На сегодняшний день тяжелые грузовики почти исключительно используют дизельное топливо, бензин и природный газ. Биотопливо составляет менее 5% от общего потребления в секторе.

Согласно отчету Международного энергетического агентства, ожидается увеличение активности большегрузных автомобилей к 2050 г. При сохранении использования дизельного топлива к тому времени на долю большегрузных автомобилей может приходиться более 75% всех выбросов CO₂, связанных с автомобильными грузоперевозками.⁵²

На сегодня ключевыми игроками рынка водородных грузовиков являются Китай, Европа, США, в России создаются первые пилотные образцы и проводятся разработки техники (Таблица 4).

Таблица 4 - Основные производители водородных грузовиков и тяжелой техники в мире

Страна	Производитель	Модели
Япония 	Toyota Motor Corporation и Hino Motors	Создан грузовик на водороде с запасом хода - 600 км, проводятся тестирования прототипов.
Китай 	Sinotruck и FAW	Выпускаются модели с запасом хода более 800 км.
Южная Корея 	Hyundai Motor	Грузовики XCIENT Fuel Cell относятся к 8 классу и обладают максимальным запасом хода 500 миль (около 800 км). Это связано с тем, что большие объемы водорода будут храниться на самом автомобиле в баках под давлением 700 бар или около 10 000 psi. Максимальная полная масса грузовика XCIENT Fuel Cell с прицепом составит свыше 37 тонн.
ЕС 	Daimler Truck и Volvo	Начато серийное производство водородных грузовиков, им удалось реализовать более 700 машин в 2024 г. В Европе делается основной акцент на развитие водородной инфраструктуры. По состоянию на июнь 2024 г. построено 150 водородных заправок для грузовиков.
	Holthausen Clean Technology Investment (Нидерланды)	Выпускается водородный грузовик HyMax 450.
	Scania(Швеция)	Норвежской оптово-торговой компанией ASKO осуществляется опытная эксплуатация 75 грузовиков на водороде.
	Kenworth	Kenworth интегрировал последние достижения Toyota в технологии водородных топливных элементов в свой флагманский шоссейный грузовик T680. T680 FCEV имеет запас хода до 730 км. T680 FCEV хранит большую часть своей

⁵²Отчет IEA, 2023



США 		энергии на борту в виде сжатого водорода, что позволяет использовать батареи меньшего размера.
	Hyzon motor	Hyzon HyHD8-200, Hyzon HyHD8-110, Мусоровоз Hyzon.
	Nikola Corporation	Производит электрические грузовики на водородном топливном элементе. В сентябре 2023 г. корпорация Nikola запустила свой электрический грузовик на водородных топливных элементах на своем производственном предприятии в Аризоне, США. Грузовик имеет запас хода до 800 км и заправку примерно за 20 минут.
ЕАЭС		
Российская Федерация 	КАМАЗ и АФК «Система»	Реализуется совместный проект по созданию водородного грузовика КАМАЗ и Центра водородных технологий АФК «Система» с запасом хода 500 км (на этапе испытаний), в перспективе дальность хода 800 км.
	КАМАЗ	Разрабатывается прототип магистрального тягача на водородных топливных элементах с запасом хода не менее 800 км.
	МФТИ совместно с компанией «Вездеходы для Севера», «Гидроген Энерджи» и «KUBO»	Разработан прототип вездехода на водородном топливе РУСАК-10.
	ООО «ТК «Сидера»	Проводятся разработки водородного грузовика и вездехода.
	АО «АЗ «Урал» совместно с Инжиниринговым центром «Липгарт» МГТУ им. Н.Э. Баумана	В рамках реализации Концепции развития электротранспорта России до 2030 г. и ФП «Электромобиль и водородный автомобиль» проводит работу по созданию инновационной модели Урал –Н2. В результате реализации проекта будет изготовлена модульная платформа для создания линейки электрогрузовиков с различными вариантами силовых установок (для их применения в городских коммунальных службах, логистике, строительстве). ТС с запасом хода 300 км.
	Объединенный инженерный центр (группа ГАЗ)	Прорабатывается проект по внедрению ДВС, работающего на водородном топливе на модельный ряд «Газон», «Валдай».
	ООО «Эвокарго»	Изготовлен опытный образец малогабаритного беспилотного грузовика. Помимо зарядки электричеством, применяется система энергоснабжения на основе водородных топливных элементов с запасом хода 200 км.



Тенденции развития грузового транспорта на водороде с разбивкой по мировым регионам

В 2024 г. глобальный рынок главным образом сосредоточен в пилотных проектах и ранних коммерческих поставках водородных грузовиков.

В Китае уделяется особое внимание развитию грузового транспорта на водороде. По данным Китайской автомобильной ассоциации на первое полугодие 2024 г. выпущено более 3673 водородных грузовиков.⁵³

В Европе делается основной акцент на развитие водородной инфраструктуры. Так по состоянию на июнь 2024 г. построено 150 ВЗС для грузовиков.

Компании Daimler Truck и Volvo начали серийное производство водородных грузовиков, им удалось реализовать более 700 машин в 2024 г. Правительство Германии и руководство Евросоюза предоставило 226 млн. евро компании Daimler Truck для продолжения работ по созданию и тестированию ста водородных грузовиков. На эти средства будут созданы прототипы инновационных моделей грузового транспорта и подготовка к серийному производству, которое намечено на 2026 г.⁵⁴

Ключевые игроки, такие как Nikola Corporation, Hyundai Motor Company и Toyota Motor Corporation, доминируют на рынке, используя стратегические партнерства и технологические инновации для сохранения своего конкурентного преимущества.

Норвежская оптово-торговая компания ASKO в числе первых начала опытную эксплуатацию 4 электрогрузовиков Scania G350, оснащённых водородными топливными элементами. Для их обслуживания при помощи независимой исследовательской компании SINTEF и Норвежского университета естественных и технических наук (NTNU) построена собственная водородная заправочная станция возле Тронхейма.

В США также имеются положительные тенденции по продаже водородных грузовиков, рост их продаж составил 20% в 2024 г. по сравнению с 2023 г.

Выпуском водородных грузовиков занимаются также такие гиганты как шведско-китайский Volvo, корейский Hyundai и голландский HyMax (произведено 90 штук).⁵⁵

К середине десятилетия (2025–2027 гг.) планируется запуск десятков водородных заправочных станций по всей Европе, в США (Калифорния) и некоторых

⁵³ <https://mnogotonn.com/v-kitae-rastut-prodazhi-vodorodnyh-avtomobilej/>

⁵⁴ <https://apnegg.ru/news/es-vydelil-dengi-kompanii-daimler-na-sozдание-vodorodnyh-gruzovikov>

⁵⁵ Исследования SBS Consulting



азиатских странах, что заложит фундамент для ускорения развития водородного рынка после 2024 г.

В государствах-членах ЕАЭС имеются перспективы по развитию производства данного вида транспорта. В настоящее время активно реализуется совместный проект по созданию водородного грузовика КАМАЗ и Центра водородных технологий АФК «Система» и другие проекты, указанные в таблице 4.

Европейский союз

Действующая в Европейском союзе стратегия «Fit for 55» и новые требования к снижению выбросов от тяжёлого транспорта предполагают введение стандартов Euro VII для грузовиков, что может увеличить давление на дизельные модели и подтолкнёт к альтернативам, включая водород.

H2Accelerate» – европейская инициатива, в которой участвуют крупные производители грузовиков (Daimler Truck, Volvo Group), нефтегазовые компании и другие заинтересованные стороны, целью которой является ускорение коммерциализации водородных грузоперевозок. В настоящее время инициатива находится на ранней стадии, но планы предполагают введение десятков станций и сотен грузовиков в течение нескольких лет для уменьшения рисков и затрат, связанных с развитием водородных коридоров.

ЕС разрабатывает Alternative Fuels Infrastructure Regulation, которая предполагает обязательное развертывание водородных станций через определённые интервалы вдоль трансъевропейских транспортных коридоров. В настоящее время реализуются пилотные проекты размещения заправочных станций через каждые 150–200 км.

В ЕС действуют программы финансирования (Horizon Europe, Connecting Europe Facility), поддерживающие пилотные проекты, строительство водородных коридоров, субсидии при покупке водородных грузовиков. Однако в 2024 г. их масштаб ещё относительно мал, но имеет тенденцию к росту.

Европейские инициативы (например, H2Haul, проекты под эгидой ЕС) планируют к середине 2020-х тестировать десятки водородных грузовиков. Полноценный рост ожидается после 2025–2027 гг., когда заработают более масштабные программы субсидий и появятся дополнительные станции для заправки.

Конкурентная среда формируется такими нормативными актами, как European Green Deal и US Clean Air Act, которые стимулируют коммерческие транспортные средства с нулевым уровнем выбросов. Эти правила в сочетании с государственными субсидиями имеют решающее значение для расширения рынка. Однако такие проблемы, как высокие производственные затраты и ограниченная инфраструктура заправки, остаются. Ожидается, что интеграция передовых технологий в системы



топливных элементов и партнерство с поставщиками энергии откроют новые возможности еще больше улучшая перспективы рынка.

Hyundai одна из первых компаний осуществляющих коммерческие поставки водородных грузовиков (модель XCIENT Fuel Cell). К 2023 г. ей было поставлено более 50 грузовиков в Швейцарию.

США

В США продолжают совершенствовать стандарты выбросов для тяжёлого транспорта через Агентство по охране окружающей среды (EPA) и через штатовое регулирование (особенно в Калифорнии), что стимулирует поиск низкоуглеродных решений. Водородными программами Калифорнийского совета по воздушным ресурсам (CARB), Министерства энергетики (DOE), Калифорнийской энергетической комиссии (CEC) выделяются гранты на развитие инфраструктуры и закупку пилотных партий водородных грузовиков. Закон о снижении инфляции (IRA) 2022 г. стимулирует «чистые» технологии, в том числе водородные.

Национальная стратегия США по грузовым коридорам с нулевым уровнем выбросов включает в себя строительство сети водородных заправочных станций для поддержки грузовых перевозок к 2040 г.

В настоящее время Toyota и Hino тестируют водородные грузовые прототипы прорабатывая пробные маршруты между портами, складами и распределительными центрами в Калифорнии для проверки в реальных условиях удобства заправки, экономику и надёжность водородных фур.

Nikola Corporation в 2023 г. начала поставки водородных грузовиков Nikola Tre FCEV в калифорнийские логистические компании, их объём пока ограничен.

Азиатские страны (Япония, Южная Корея, Китай)

Азиатские страны используют государственные пакеты стимулирования: скидки на покупку, налоговые льготы и субсидии на заправочные станции.

Япония и Корея активно продвигают национальные стандарты безопасности для водородных транспортных средств, стараясь задать тренд на глобальном уровне. Япония стимулирует внедрение водорода в транспорт, но основная ставка пока делалась на легковые авто и автобусы. В 2024 г. разработаны пилотные модели грузовиков Toyota-Hino.

Южная Корея при поддержке Hyundai стремится увеличить присутствие водородных грузовиков на рынке. Количество таких грузовиков ограничено десятками единиц в пилотных проектах.

В Китае также уделяется особое внимание развитию грузового транспорта на водороде, Sinotruck и FAW выпускаются модели с запасом хода более 800 км.



Несмотря на развитие водородных технологий для тяжелых грузовиков остаются нерешенными ряд проблем.

Проблемы с производством водородных грузовиков практически идентичны сложностям при производстве водоробусов, ранее указанных в Обзоре. К ним относится:

1. Высокая стоимость производства. Производство водородных грузовиков дороже дизельных моделей. В настоящее время рентабельность производства водородных грузовиков зависит от государственной поддержки и субсидий.

2. Высокая стоимость «зелёного» водорода.

3. Технологические вопросы: Долговечность топливных элементов, надёжность в экстремальных условиях, необходимость доработки стандартов безопасности и обслуживания.

Таким образом можно заключить, что к 2024 г. проекты по производству водородных грузовиков не носят массовый характер, однако тестирование комплексных логистических цепочек с водородом уже идёт. Подобный подход создаст новые возможности интеграции водорода и снизит общие затраты.

Одним из ключевых для развития производства водородных грузовиков в мире являются инструменты государственной поддержки, субсидии, включение водородного транспорта в государственные программы развития.

Прорыв в инфраструктуре, снижение стоимости водорода, разработка общих стандартов и формирование целевых водородных коридоров — ключевые шаги, которые определяют темпы роста и расширение мирового рынка водородных грузовиков в будущем.

Грузовики на водороде могут стать частью более широких водородных экосистем, включающих железнодорожный транспорт на водороде, водородные суда во внутренних водных путях, а также стационарные топливные элементы для складов и портовой техники.



2.4 Сельскохозяйственная и карьерная техника

В мире формируются тенденции по созданию первых образцов сельскохозяйственной и карьерной техники с водородными энергоэффективными решениями.

Трактор на водородных топливных элементах

Основные разработки по созданию сельскохозяйственной техники на водородных топливных элементах сконцентрированы в Японии и Европейском союзе.

Так крупнейший японский производитель сельскохозяйственной техники Kubota в 2025 году представил первые в мире тракторы на водородном топливе. Корпорация разрабатывает эти машины в различных модификациях мощностью от 50 до 100 лошадиных сил.

В Европе первопроходцем является французское отделение фирмы Massey Ferguson, которая создает прототип трактора на водородных топливных элементах.

В Австрии разработан концепт трактора FCTRAC на водородных топливных элементах, работающего на биогенном водороде.

Таблица 5 – Основные разработчики водородной сельскохозяйственной техники в мире.

Страна	Производитель	Особенности развития
 Япония	Kubota	Планирует выпустить первый в мире трактор на водородных топливных элементах в 2025 году.
 ЕС	Австрия STEYR и Технический университет Вены	В августе 2024 года представили концепт трактора FCTRAC на водородных топливных элементах, работающего на биогенном водороде.
	Германия Fendt	Изготовлены пилотные образцы трактора, проводятся первые тестовые испытания. <i>Особенности: За базу для создания водородного трактора был взят серийный Fendt 700 Vario. Система трактора работает при напряжении 700 вольт постоянного тока. На крыше трактора установлено пять водородных баков, содержащих сжатый водород до 700 бар каждый вместимостью 4,2 кг, и батарея емкостью 25 кВтч. Трактор оснащен электродвигателем 100 кВт/136 л.с., работающим в паре с коробкой передач Vario.</i>
	Франция Massey Ferguson	В марте 2025 г. Massey Ferguson анонсировала выход прототипа трактора на водородных топливных элементах. Демонстрационная модель будет создана на базе платформы традиционного трактора средней мощности и



		будет использовать все возможности двигателя AGCO Power.
США 	New Holland	Трактор NH2 является практически бесшумным, при этом он использует три блока топливных элементов (ТЭ) суммарной мощностью 135 л.с. Один из них используется для движения, второй — для привода вспомогательного и навесного оборудования через гидравлическую систему. Водородное топливо в конструкции агрегата хранится в газообразном виде под давлением 350 атмосфер. Бак имеет рабочий объем 8,2 кг, что достаточно для трех часов непрерывной работы в поле.

Карьерная техника

Основным преимуществом водородных самосвалов является их экономичность и отсутствие выбросов CO₂. Они на 50% экономичнее дизельных, что не только снижает затраты на эксплуатацию, но и делает их более устойчивыми к колебаниям цен на традиционные углеводороды.⁵⁶

Основными игроками рынка карьерной техники проводятся разработки и тестовые испытания машин на водородных топливных элементах (таблица 6). Интерес показывают следующие страны: Япония, Южная Корея, США.

В рамках Союза также развивается производство карьерной техники на водороде. Пилотный проект по использованию карьерных самосвалов производства ОАО «БЕЛАЗ» на водородном топливе запустят на промышленных объектах в Российской Федерации. Соответствующее соглашение подписали правительство Сахалинской области, АО «Русатом Оверсиз», АО «Новые производственные технологии», ОАО «БЕЛАЗ» и МФТИ.

Таблица 6 – Основные производители карьерной техники в мире

Страна	Производитель	Особенности развития
Япония 	Komatsu	В феврале 2025 года Komatsu начаты испытания концептуального самосвала HD785 с двигателем, работающим на водороде.
Южная Корея 	Hyundai Construction Equipment	В январе 2025 года Hyundai представила 14-тонный колесный экскаватор HW155H на водородных топливных элементах, номинированный на премию Bauma 2025 в категории защиты климата. Данный проект уже получил платиновую награду на конкурсе LACP Inspire Awards 2024.
США 	First Mode	Совместно с Anglo American представлен прототип первого в мире самосвала на водородных

⁵⁶ <https://operevozke.ru/news/vodorodnye-karernye-samosvaly-na-sahaline-tehnologicheskij-proryv-ili-put-v-budushhee>



		топливных элементах на платиновом руднике Mogalakwena в ЮАР. <i>Особенности: Прототип высотой в три этажа и пустым весом 200 тонн оснащен водородным топливным элементом и силовым агрегатом с литий-ионным аккумулятором, разработанным и изготовленным компанией First Mode.</i>
ЕАЭС		
Российская Федерация  Республика Беларусь 	ООО «Инжиниринговый центр «Автономная энергетика» (совместная компания ГК «Ростех» и МФТИ) ОАО «БЕЛАЗ»	Прорабатывается проект создания образцов самосвалов на водороде.



2.5 Водородные поезда

Железнодорожный транспорт является наименее загрязняющим видом пассажирского транспорта - его развитие поможет сократить общие выбросы CO₂.

Прямые выбросы CO₂ от железной дороги остаются ниже 100 Мт CO₂.⁵⁷ Чтобы вписаться в сценарий «Чистые нулевые выбросы к 2050 г.» (NZE), выбросы необходимо будет снижать примерно на 5% в год до 2030 г., что требует поиска новых экологических решений.

В железнодорожной отрасли набирают популярность поезда на водородном топливе, обладающие значительно большей дальностью хода, чем электропоезда с аккумуляторным питанием, и значительным потенциалом для преобразования железнодорожного транспорта.

Сторонники поездов на топливных элементах указывают на их потенциал для движения на большие расстояния (до 1000 км при максимальной скорости 140 км/ч) без дозаправки, отмечая, что поезда на топливных элементах не требуют затрат на контактные линии, что делает их более конкурентоспособными по сравнению с вариантом электрификации, когда речь идет о дальних маршрутах с низкой загрузкой. Имеется потенциал для быстрого времени дозаправки⁵⁸.

Модели водородных поездов можно встретить в Китае, Южной Корее, Германии, Японии, Испании, Индии.

⁵⁷ <https://www.iea.org/energy-system/transport/rail>

⁵⁸ <https://www.iea.org/energy-system/transport/rail>



Первый поезд, использующий водород в качестве топлива, производства компании Alstom - Coradia iLint был запущен в Германии. Он курсирует по немецким железным дорогам с 2018 г. В 2022 г. начата эксплуатация 14 водородных поездов для обслуживания пассажирских перевозок по 100-километровому маршруту в Нижней Саксонии, что является частью более крупного заказа от производителя поездов Alstom на 41 поезд.

В 2023 г. Франция заказала 12 водородных поездов, проходящих тестовые запуски.

Министерство инфраструктуры и транспорта Италии выделило 300 млн евро на закупку подвижного состава на водороде и производство, хранение и поставку возобновляемого водорода.

Водородные поезда появляются и в других странах: В Японии запуск водородного поезда запланирован на 2030 г. В марте 2022 г. японская JR East начала тестовые запуски водородно-гибридного поезда HYBARI, который питается от водородных топливных элементов и батарей. Это первый тяжелый поезд, использующий водород высокого давления (70 МПа), что увеличивает максимальную дальность хода.

В Чили горнодобывающая железная дорога Ferrocarril de Antofagasta a Bolivia представит водородные поезда в 2025 г.⁵⁹

Индия работает над собственными водородными поездами - подготовлен опытный образец водородного поезда, который проходит первые тесты.

В Испании завершен международный проект FCH2Rail по созданию демонстрационного гибридного поезда, который может получать питание от контактной сети, водородных топливных элементов и тяговых аккумуляторов. Поезд совершил испытательные поездки в Испании и Португалии с суммарным пробегом более 10 тыс. км в режиме питания от водородных топливных элементов. Во время одной из поездок дальность его хода на одной заправке водородом составила 804 км.

Согласно плану 2022 г. государственного комитета по делам развития и реформ КНР, планируется к 2025 г. построить 50 тыс. локомотивов на водородном топливе, а также увеличить объем производства полностью чистого водорода до 100-200 тыс. тонн в год. Китайская компания China Railway Rolling Stock разрабатывает поезд CINOVA H2.

В 2024 г. в Китае завершилось тестирование первого пригородного поезда с питанием от водородных топливных элементов, разработанного компанией CRRC Changchun Railway Vehicles на основе собственных технологий, корпорация

⁵⁹ <https://www.iea.org/energy-system/transport/rail#tracking>



CRRC представила на выставке InnoTrans в Берлине четырехвагонный поезд на топливных элементах, рассчитанный на скорость движения до 200 км/ч.

Поезд на водородном топливе Flirt H2, разработанный швейцарской компанией Stadler Rail, установил новый мировой рекорд дальности. Во время испытаний в США поезд преодолел расстояние в 2800 км на одном баке водорода, что значительно превысило его расчетную дальность хода в 460 км.

Поезд Flirt H2 оснащен двумя моторными вагонами и работает по принципу гибридной системы, сочетающей топливные элементы и аккумуляторные батареи. Топливные элементы преобразуют водород в электричество в результате химической реакции с кислородом воздуха, а батареи обеспечивают дополнительную мощность и энергоэффективность.

В России разработкой первого водородного поезда занимается производитель железнодорожного и городского рельсового транспорта «Трансмашхолдинг» (ТМХ) совместно с ОАО «РЖД», Госкорпорацией «Росатомом» и Правительством Сахалинской области. Сахалин станет первым регионом, где начнут эксплуатировать состав.

К 2026 г. «Синара - Транспортные машины» планирует создать пилотной образец маневрового водородного локомотива.

Таблица 7 - Ключевые производители пассажирского железнодорожного водородного транспорта в мире

Страна	Производитель/разработчик	Продукция
Франция 	Alstom Coradia iLint	С 2022 г. заменены дизельные поезда на водородные в Германии Нижней Саксонии и в пригородах транспорта (14 поездов).
Германия 	Siemens Mireo Plus H	Замена дизельных поездов на водородные в пригородах Берлина.
Испания 	CAF	Создан демонстрационный гибридный поезд, который может получать питание от контактной сети, водородных топливных элементов и тяговых аккумуляторов.
Китай 	CRRC	Межгородской поезд на водородном топливе CINOVA H2. При ежегодной эксплуатации в 300 000 километров каждый поезд может сократить выбросы углекислого газа примерно на 730 тонн в год. CINOVA H2 может развивать максимальную скорость до 200 километров в час, а четырехвагонная версия поезда вмещает более 1 000 пассажиров. Дальность



		хода составляет 1 200 километров при скорости 160 км/ч, что превышает расстояние от Берлина до Лондона. При этом расход водорода составляет менее 0,3 грамма на пассажира на километр.
		Ningdong - первый водородный локомотив, преобразованный из тепловоза на дизельном топливе с двигателем внутреннего сгорания. Специальные баки на крыше Ningdong способны вмещать до 270 кг сжиженного водорода, а двигатель локомотива может работать до 190 часов без дозаправки. Его мощность на водородных топливных элементах составляет 800 кВт.
Япония 	Toyota Motor Corporation East Japan Railway Co, Hitachi Hybary	Пилотный проект по созданию водородного поезда JR Fast, реализуется с 2022 г.
Индия 	Medha Servo Drives (MDS)	Разработанная модель проходит первые тесты. Его полноценная эксплуатация намечена на 2027 г. Мощность силовой установки составит 2400 кВт (1600 кВт – топливные элементы от американской Ballard, 800 кВт – накопители), запас хода – 375 км, макс. скорость – 110 км/ч, пассажировместимость – 2638 человек.
Россия 	ОАО «ТМХ»	Пилотный проект по созданию пригородного поезда на топливных элементах для о. Сахалин.
	Синара –Транспортные машины, РЖД	К 2026 г. запланировано создание пилотного образца маневрового водородного локомотива.

Проектируется два варианта поезда: из двух головных вагонов с бустерной секцией, в которой будут размещены силовые установки и накопители энергии, и из трех вагонов (два головных, промежуточный и бустерная секция), составы можно будет объединять. У двухвагонного поезда запас хода будет составлять 725 км на водороде и 80 км на накопителях, у трехвагонного — 487 км плюс 40 км соответственно.⁶⁰

В Республике Казахстан Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева уделяет пристальное внимание научно-исследовательским разработкам в сфере применения водорода в поездах.



2.6 Водородная авиация

Данный раздел приводится в качестве обзора тенденций по развитию водородного воздушного транспорта в мире, но ввиду отсутствия разработок и исследований и его указания в долгосрочных стратегических документах стран ЕАЭС не будет считаться приоритетным направлением для дальнейшего развития кооперации.

В настоящее время производство и эксплуатация самолетов на водороде отсутствует, а анонсируемые проекты по запуску такой техники переносятся и дорабатываются ввиду неразвитости технологий и инфраструктуры.

Вместе с тем, водород является одним из самых перспективных вариантов для создания авиации с нулевыми выбросами. Он имеет высокую энергетическую плотность и при этом позволяет сократить выбросы до минимальных значений. Однако, в отличие от авиационного топлива, водород требует много места и может использоваться только в виде криогенной жидкости, охлажденной до температуры ниже -253°C .

В перспективе водородные самолёты планируется снабжать топливными элементами, которые преобразуют водород в электроэнергию, либо для зарядки аккумуляторов, либо для непосредственного питания электродвигателей. Однако остаётся проблема веса: современные электродвигатели, мощные для обычных самолётов, слишком тяжелы и имеют низкое соотношение мощности к массе, требуется существенная доработка данной технологии.

В основе авиационной стратегии Японии лежит разработка узкофюзеляжного пассажирского самолета следующего поколения, работающего на водороде. Эта инициатива преследует двойную цель: сократить выбросы углекислого газа в авиационной отрасли и обеспечить позиции Японии как лидера на развивающемся рынке устойчивых авиационных технологий. Проект, поддерживаемый правительством, с прогнозируемыми инвестициями в размере 5 триллионов иен (приблизительно \$33 млрд) в течение следующего десятилетия направлен на использование возможностей отечественных поставщиков и новаторов. План включает не только разработку самолета, но и создание поддерживающей экосистемы для производства, хранения и транспортировки водородного топлива.

Как показывает анализ проектов в мире изначально амбициозные цели по созданию самолетов на водородном топливе к 2035 г. откладываются либо корректируются.



В 2020 г. Airbus представала 3 концепта первого в мире самолета с нулевым уровнем вредных выбросов - ZEROe и заявила о начале полетов на них в 2035 г. Однако в начале 2025 г. данный проект был отложен как минимум на 10 лет.

Концепты представляют собой набор разных технологических решений и аэродинамических конфигураций, направленных на декарбонизацию авиации. И в основе всех - водород как основной источник энергии. Это три типа самолетов:

- самолет с турбовентиляторным двигателем (вместимость 120-200 пассажиров) с дальностью полета более 3700 км, способный выполнять трансконтинентальные полеты. Жидкий водород будет храниться в специальных баках, расположенных за гермошпангоутом;*
- самолет с турбовинтовым двигателем (вместимость до 100 пассажиров) с дальностью полета более 1850 км, подходящий для выполнения ближнемагистральных рейсов;*
- самолет с интегрированным фюзеляжем (вместимость до 200 пассажиров). Данный концепт имеет примерно такую же дальность, как и самолет с турбовентиляторным двигателем - более 3700 км. Исключительно просторный фюзеляж самолета предоставляет много возможностей для размещения систем хранения и подачи водорода, а также разнообразия пассажирских компоновок.*

В 2022 г. Британским институтом аэрокосмических технологий представлены концепты регионального, узкофюзеляжного и широкофюзеляжного водородных самолетов в их окончательном варианте. Они основаны на проектах существующих летательных аппаратов ATR 72-600, A320neo и Boeing 767-200ER — и внешне походят на них. Но требования к хранению жидкого водорода привели к тому, что у водородных версий диаметр фюзеляжа значительно больше.⁶¹

В мае 2023 г. JetZero объявила о своих планах по созданию и сертификации самолёта и получила грант в размере 4,5 млн долл. США. Вскоре после этого компания заключила контракт с одним из ведомств США на сумму 235 млн долл. США, что обеспечит финансирование на следующие 4 года. Полномасштабный запуск прототипа запланирован на начало 2027 г.⁶²

Развитие этой технологии может открыть новые возможности для создания водородных самолётов будущего, делая авиацию более экологичной и эффективной.

В государствах членах ЕАЭС крупные разработки и исследования по созданию самолетов на водородных топливных элементах в настоящее время не проводятся. ООО «ТК «Сидера» (Российская Федерация) планируется разработка прототипа грузопассажирского летательного аппарата для малой авиации с применением

⁶¹ <https://renen.ru/predstavlena-kontseptsiya-dalnemagistralnogo-samoleta-na-zhidkom-vodorode/>

⁶² <https://hightech.plus/2025/01/13/jetzero-podtverdila-namerenie-postroit-passazhirskii-lainer-so-smeshannim-krilom>



топливных элементов на водороде мощностью до 350 кВт и электродвигателем более 1000 л.с.



2.7 Водородные беспилотники

Водородные дроны используют топливные элементы с протонно-обменной мембраной (РЕМ) для преобразования водорода в электроэнергию, питающую электромоторы. В отличие от батарейных БПЛА, водородные беспилотники: могут находиться в воздухе в разы дольше (вместо 30–60 минут – 2–4 часа и более в зависимости от модели и полезной нагрузки).

Использование водородных беспилотников является перспективным направлением для промышленности в части их применения для доставки грузов в труднодоступную местность стран государств-членов, а также проведения мониторинга земель, для обработки удобрениями сельскохозяйственных угодий.

Водородные дроны также могут патрулировать нефтепроводы, линии электропередач, проводить долгосрочную аэрофотосъёмку и картирование сельскохозяйственных угодий. Их длительное время полёта полезно для сложных задач, где требуется длительное «висение» или дальний маршрут. В условиях катастроф и чрезвычайных ситуаций водородные дроны могут дольше оставаться в воздухе, искать пострадавших или оценивать масштабы ущерба, не требуя частой посадки для подзарядки.

При этом вес системы при той же энергоёмкости существенно меньше, что особенно важно для беспилотников, где масса играет ключевую роль. Еще одним преимуществом водородных беспилотников является то, что при использовании «зелёного» водорода они не генерируют углеродных выбросов в процессе полёта, обеспечивая экологичность.

Водородные беспилотники (дроны на топливных элементах) – это перспективная ниша в аэрокосмической и логистической индустрии, предлагающая гораздо большую дальность и время полёта по сравнению с аккумуляторными аналогами.

Водородные беспилотники в настоящее время активно развиваются в Южной Корее, Китае, Японии, Великобритании, Канаде, Сингапуре, США, Российской Федерации (таблица 8).

В 2023–2024 гг. уже сформировался пул ключевых игроков, включая Doosan Mobility Innovation (Южная Корея), Intelligent Energy (Великобритания), Ballard Power Systems (Канада), HES Energy Systems (Сингапур), разрабатывающих



топливные ячейки и готовые беспилотные системы. Основные сферы их применения – мониторинг инфраструктуры, сельское хозяйство, поисково-спасательные операции, военные и научные миссии.

Таблица 8 - Ключевые производители водородных беспилотников в мире⁶³

Страна	Основные производители и разработчики водородных беспилотников в мире	Разработки/специализация
Южная Корея 	Doosan Mobility Innovation	Компания одна из первых вывела коммерческие водородные дроны (например, модель DS30), способные находиться в полёте 2 часа и более.
Китай 	Shaanxi Tongchen Cryogenic Technology, Dream Chasing Aerospace Technology и Beijing Jiaqing New Energy Technology	Разработан и впервые испытан беспилотник DF600 Jinghong с вертикальным взлетом, работающим на водородных топливных ячейках с дальностью полета 1 тыс. км.
Великобритания 	Intelligent Energy	Специализируется на лёгких водородных топливных элементах для UAV. Их продукция интегрируется в различные дрон-платформы и широко тестируется партнёрами по всему миру.
Канада 	Ballard Power Systems	Крупный поставщик водородных топливных элементов для транспорта, включая воздушные применения. Ballard поставляет компактные модули, которые интегрируют производители дронов.
Сингапур 	HES Energy Systems	Разработала лёгкие водородные системы, ориентированные на воздушные беспилотные аппараты, предлагая решения с высокой плотностью энергии. Их дроны и топливные элементы применяются в проектах длительного мониторинга.
США/Великобритания 	HyPoint	Разрабатывает высокоплотные водородные топливные элементы для авиации, включая беспилотные системы и eVTOL. Хотя их решения более известны в контексте пилотируемых аппаратов, технология применима и к дронам.
Россия	ООО «Аэромакс» и АФК «Система»	Ведется разработка водородного БПЛА вертолетного типа с увеличенной дальностью полета. Подготовлен опытный образец и проводятся испытания.

⁶³ На основе информации официальных сайтов производителей БПЛА



	МФТИ и ООО «Гидрожен Энерджи»	Разработан БПЛА на водородных топливных элементах для работы в арктических условиях.
	ГК «ИКАР» совместно с АФК «Система»	Водородный БПЛА мультироторного типа для доставки грузов в труднодоступные районы. Продолжаются летные испытания.
	МАИ	Спроектирован первый БПЛА с возможностью быстрой водородной заправки. В стадии создания пилотного образца, который планируется представить в 2025 г.
	ООО «ТК «Сидера»	Проведены испытания разработок беспилотных авиационных систем с использованием искусственного интеллекта для особо суровых северных климатических территорий.
На рынке присутствуют стартапы и исследовательские институты, сотрудничающие с военными или промышленными компаниями, например, американские и европейские стартапы в аэрокосмической сфере, поддерживаемые правительственными грантами и фондами.		

Тенденции развития водородных беспилотников с разбивкой по мировым регионам

Азия (Южная Корея, Япония, Китай)

Азиатскими странами продвигаются водородные технологии, посредством государственной поддержки, инвестиций в НИОКР.

Корейской компанией Doosan Mobility Innovation выпущены коммерческие водородные дроны, способные находиться в полёте 2 часа и более. Дроны уже используются для мониторинга энергетической инфраструктуры, сельского хозяйства, спасательных операций.

Япония вкладывается в исследования для будущего беспилотного грузового сообщения.

В Китае в начале 2025 г. проведены испытания тяжелого беспилотника DF600 Jinghong с вертикальным взлетом, работающим на водородных топливных ячейках с дальностью полета 1 тыс. км. Беспилотный летательный аппарат разработан 3-мя компаниями Shaanxi Tongchen Cryogenic Technology, Dream Chasing Aerospace Technology и Beijing Jiaqing New Energy Technology и способен перевозить грузы весом от 120 до 160 кг, а его максимальная взлетная масса составляет 1,2 тонны. Беспилотник оснащен поворотными двигателями, что позволяет ему переходить из вертикального взлета в горизонтальный полет, как у самолета.⁶⁴

⁶⁴ <https://hightech.plus/2025/01/16/v-kitae-vpervie-podnyalsya-v-vozduh-12-tonnii-bpla-na-zhidkom-vodorode>



Европейский союз

Британские и французские компании исследуют применение водородных дронов для мониторинга морских ферм, ветряных станций, лесных массивов.

США

Здесь замечен интерес к водородным дронам для военных и специальных служб. Коммерческие компании тестируют их для доставки медикаментов, мониторинга инфраструктуры и аварийных ситуаций.

ЕАЭС

Среди государств - членов ЕАЭС только в Российской Федерации на сегодняшний день разрабатываются пилотные образцы БПЛА на водороде.

По оценкам экспертов, объем рынка грузовой доставки дронами к 2030 г. в Российской Федерации может достичь 250 млрд рублей.⁶⁵ Однако столь значительный рост логистического сегмента возможен при достижении определенных базовых условий, включая внедрение автоматизированной наземной инфраструктуры обслуживания БАС, уведомительного порядка полетов БВС, спутниковой радиокомандной линии связи, увеличения удельной емкости источников энергии и ресурса силовых установок.

Сегмент логистики самый капиталоемкий и наукоемкий, так как представлен более тяжелыми машинами с повышенными требованиями к отказоустойчивости, способностью динамически менять маршрут между пунктами назначения, автоматически уклоняться от столкновений с другими воздушными судами. Несмотря на большое количество нормативных и технологических ограничений, на долю перевозки грузов на БВС уже приходится около 6% общего объема российского рынка услуг с применением БАС. Здесь среди ключевых игроков можно отметить НЦВ «Миль и Камов» («Вертолеты России»), «Радар ММС», «Аэромакс», ОКБ «Сухой», «Эколибри». Перспективные разработки во всех направлениях ведут еще многие игроки.

По данным Ассоциации работодателей и предприятий индустрии беспилотных авиационных систем «Аэронекст», только в прошлом году объем оказанных услуг с применением этой техники в России вырос на 12%, а количество произведенных БАС гражданского назначения увеличилось на 20%.

Дальнейшее снижение массы систем и увеличение энергоэффективности позволят беспилотникам пересекать большие расстояния. В перспективе их могут использовать в логистике (доставка грузов или медикаментов в труднодоступные регионы), а также в непрерывном мониторинге больших территорий.

⁶⁵ Отраслевая аналитика приводится в обзоре Ассоциации «Аэронекст», 2025



При расширении водородной экономики дроны могут стать звеном в более широкой экосистеме: производство зелёного водорода, хранение на месте, использование для мобильного аэромониторинга без регулярных возвратов на базу для подзарядки аккумуляторов.

Многие производители беспилотников нуждаются в государственной поддержке ввиду высоких инвестиций в создание производств и достаточно высоких расходов на НИОКР.

Основные тенденции и вызовы при создании БПЛА на водороде можно условно разделить на следующие блоки:

Стандартизация и унификация.

Дроны сейчас могут использовать разные типы топливных элементов и системы хранения водорода. Отсутствие единых промышленных стандартов затрудняет масштабирование и взаимозаменяемость комплектующих.

Общие стандарты (по безопасности, форм-фактору водородных картриджей, соединительных интерфейсов) ускорят развитие рынка, упростят производство и снизят затраты.

Логистика водорода.

Для эффективного применения водородных дронов в удалённых районах необходимо решить вопрос логистики топлива. Если беспилотник используется в полевых условиях (например, при геологоразведке или мониторинге лесов), потребуется мобильная мини-станция для заправки водородом или компактные сменные картриджи с H_2 .

Прорабатываются решения, когда водород доставляется в твёрдом или химически связанном состоянии (например, в гидридах), а на месте освобождается для заправки дрона. Эти технологии пока на экспериментальной стадии.

Вопросы доступности сырья для топливных элементов.

Как и у других водородных устройств, производство топливных элементов требует благородных металлов (например, платины). Хотя дроны потребляют малые объёмы по сравнению с автомобильными или стационарными установками, всё же при массовом росте парка таких аппаратов стоит учесть стабильность поставок и возможности рециклинга.

В настоящее время мировые исследования направлены на снижение содержания драгоценных металлов, что, в перспективе, упростит массовое производство.

Применение искусственного интеллекта (ИИ) и управление энергией.

Водородные дроны могут быть ещё эффективнее, если применить ИИ для оптимизации маршрутов, управления мощностью и прогнозирования расхода водорода.



Алгоритмы предиктивного планирования помогут максимально использовать энергию, выбрать экономичный режим полёта, подстраиваться под погодные условия, ветер и груз.

Устойчивость к климатическим условиям.

Водородные дроны, как и любая техника, чувствительны к экстремальным температурам, высокому влажному или сухому климату. На сегодняшний день в мире проводятся тесты в разных условиях – от пустынь до арктических широт – чтобы понять пределы использования БПЛА на водороде.

Некоторые улучшения включают терморегуляцию топливных элементов и адаптацию к низким температурам, предотвращение обледенения.

Маркетинговые стратегии и осведомлённость рынка.

Рынок водородных дронов ещё довольно нишевый и производители стремятся продемонстрировать преимущество в конкретных сценариях. Массовый потребитель пока не знает о возможностях водородных беспилотников так же хорошо, как о батарейных решениях.

Таким образом можно заключить, что водородные беспилотники – это быстроразвивающаяся, но на данный момент нишевая, ветвь индустрии дронов, требующая государственной поддержки. Лидеры рынка уже предлагают коммерческие продукты с увеличенной продолжительностью полёта, что открывает новые области применения.



2.8 Водородные суда

Водородные топливные ячейки или двигатели на водороде могут быть востребованы для морского и речного судоходства. С учетом значительных сухопутных и водных просторов такие сценарии применения становятся все более актуальными для Российской Федерации и ЕАЭС в целом. Их коммерческая и техническая реализация зависит от корректной оценки потребностей и затрат по всей цепочке создания стоимости, а также формирования условий для промышленного тиражирования.

В Японии существует две модели пассажирских судов на водородном топливе, а голландская Holland Shipyard Group уже эксплуатирует судно с мощностью от 2 до 4 раз превышающую мощность японских судов.

В России ЦКБ «Балтсудопроект» спроектировало судно на водородных топливных элементах, оно было заложено на Зеленодольском судостроительном



заводе в феврале 2023 г. ФГУП «Крыловский государственный научный центр» совместно с АО «Зеленодольский завод имени А.М. Горького» выполнено строительство опытного прогулочного-экскурсионного судна с системой электродвижения для оснащения его опытным образцом универсального функционального модуля в составе энергетической установки на топливных элементах.

Sitronics Group с Центром водородных технологий АФК «Система» разработали электросудно на водороде, которое проходит тестовые испытания и доработки.

ООО «ТК «Сидера» планируется разработка специализированного транспорта с применением топливных элементов на водороде собственных разработок предприятия.



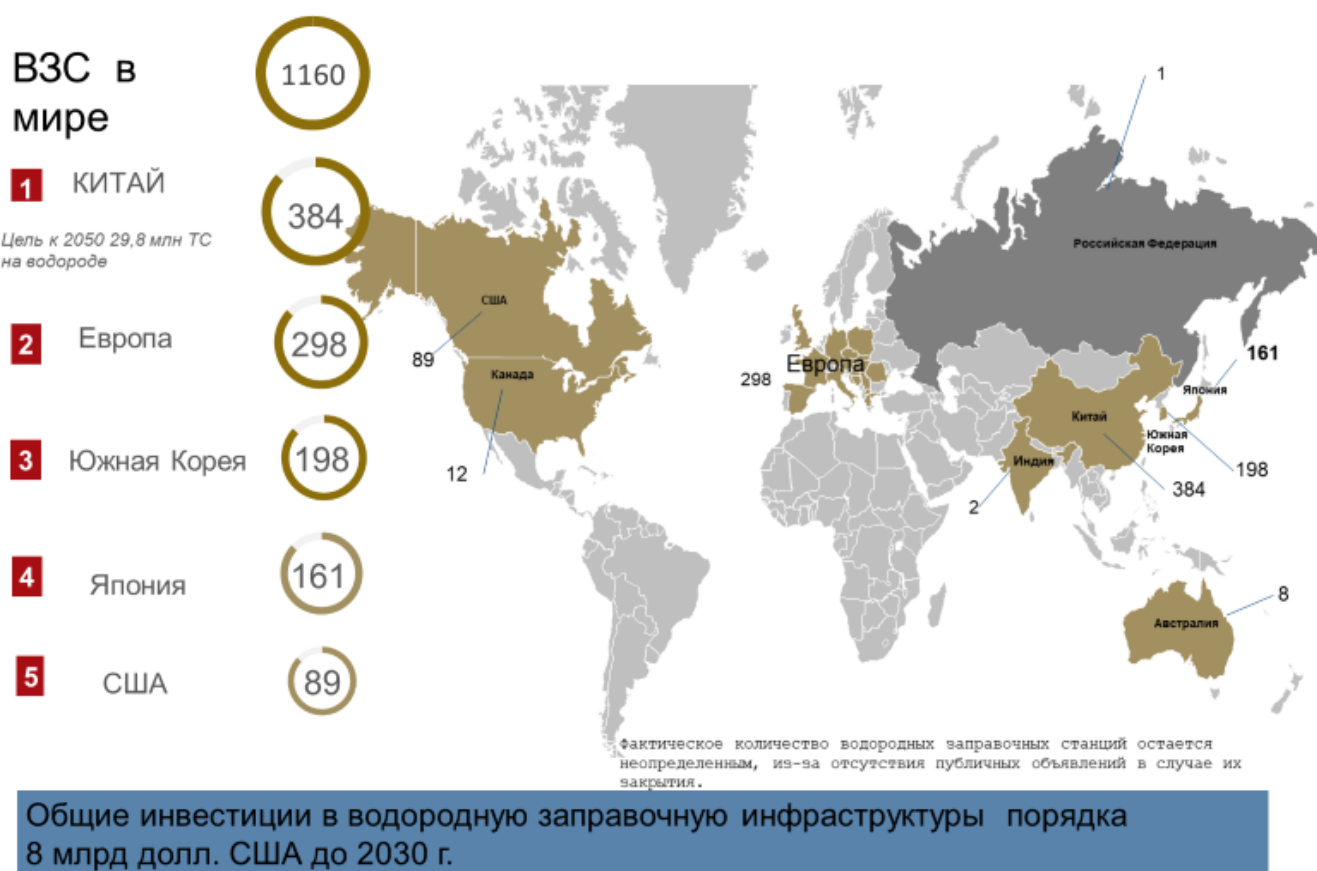
2.9 Развитие водородных заправочных станций в мире

В 45 странах сейчас действует или строится инфраструктура водородных заправок. Около 1160 водородных заправочных станций работали по всему миру по состоянию на конец 2024 г.⁶⁶

Основными драйверами развертывания ВЗС по всему миру являются климатические цели по достижению нулевых выбросов к 2050 г., развитие водородного транспорта (грузовики, автобусы) и государственные субсидии.⁶⁷

В настоящее время заправочная инфраструктура для водородного транспорта активно развивается по всему миру (Рисунок 8).

Рисунок 8 – Развитие водородной заправочной инфраструктуры в мире



Источник: Отчет Hydrogen Council, сентябрь 2024
H2Stations.

⁶⁶ <https://www.h2stations.org/>

⁶⁷ Отчет Hydrogen Council, 2024



Тенденции развития водородных заправочных станций с разбивкой по мировым регионам

Развертывание заправочных станций набирает обороты на ряде рынков, что повышает перспективы широкого распространения среди пользователей транспортных средств на топливных элементах (FCEV).

Южная Корея, Австрия и Дания стали первыми странами, установившими достаточное количество водородных станций для водородных грузовиков. Водородные станции Калифорнии (74) позволяют FCEV циркулировать по всему штату и использовать сеть водородных заправочных станций.

В Германии наибольшее количество ВЗС в Европе. Кроме того, во Франции и Нидерландах наблюдается быстрый рост числа станций.

Первые ВЗС в Болгарии и Словакии открываются в столицах стран.

В то время как многие проекты в Европе все еще находятся на стадии планирования, доля уже действующих ВЗС в Восточной Азии продолжает расти. На конец 2024 г. в Азии действовало 748 водородных заправочных станций.⁶⁸

Европа

В Европе в 2024 г. действовало порядка 298 ВЗС. Германия — единственная европейская страна, в которой установлено 113 водородных станций. Другие европейские страны, которые развертывают водородные станции, включают Францию (65), Великобританию, Словению, Нидерланды (25), Швейцарию (19) и Испанию.

В соответствии с Национальной водородной стратегией (EN-H2), утвержденной в июле 2020 г., правительством Португалии запланировано введение в эксплуатацию от 50 до 100 ВЗС к 2030 г.⁶⁹

Азиатские страны

На Китай приходится около трети мировых ВЗС (384 шт. в 2024 г.). В контексте развития национальной водородной промышленности некоторые провинции и муниципалитеты подняли свои среднесрочные и долгосрочные цели по строительству ВЗС до 2030 г. в своих планах и правилах водородной энергетики. Например, провинция Чжэцзян в августе 2023 г. опубликовала правительственный документ, в котором поставлена цель построить в общей сложности 89 ВЗС к 2030 г. (50 ВЗС к 2025 г.). Провинция Сычуань объявила о своих планах построить в общей сложности 80 ВЗС к 2030 г. (60 ВЗС к 2025 г.). Кроме того, провинции Цзилинь и Гуанси предлагают построить по 10 ВЗС к 2025 г. (к 2030 г. 70 и 50 ВЗС

⁶⁸ <https://www.h2stations.org/>

⁶⁹ <https://www.glpautogas.info/ru/avtozapravki-vodorod-portugaliya.html>



соответственно. Среднесрочные и долгосрочные цели показывают намерение этих провинций развивать водородную промышленность в долгосрочной перспективе.⁷⁰

Sinopres - национальный оператор станций технического обслуживания, в период 2021–2025 гг. планирует построить 1 тыс. ВЗС, чтобы стать первым поставщиком водорода для китайской автомобильной промышленности.⁷¹

Второй страной после Китая с наибольшим количеством ВЗС является Южная Корея с количеством ВЗС в 2024 г. порядка 198.

Третьей страной является Япония со 161 ВЗС.

В настоящее время в Японии находится одна из крупнейших сетей заправочных станций для водорода в мире, что символизирует веру правительства в будущее водорода и его стремление возглавить мир в гонке за коммерциализацию.

Ставка Японии на водород восходит к нефтяному кризису 1970-х годов, когда он был тщательно изучен в рамках инициативы по зеленой энергетике, известной как Project Sunshine, которая также включала солнечную и ветровую энергию. С тех пор правительство не прекращало инвестировать в эту новую технологию. Япония считает водород важным не только для сокращения выбросов углерода, но и с точки зрения энергетической безопасности. Япония сильно зависит от нефти, поставляемой с Ближнего Востока и по морским путям Южно-Китайского моря.

США

В США количество водородных заправочных станций составляет порядка 89 (в 2024 г.).

Штат Калифорния хочет расширить развертывание ВЗС: сеть ВЗС быстро развивается на северо-востоке, на Среднем Западе количество станций в Огайо увеличивается.

По мере того, как автобусы и грузовики на водородных топливных элементах становятся все более популярными на рынке, для большегрузных перевозок внедряются водородные станции. В ближайшие несколько лет водородные топливные элементы начнут использоваться для питания поездов, самолетов и кораблей, что приведет к росту числа водородных заправочных станций.

Огромные суммы денег вкладываются в строительство водородных станций, в основном в рамках государственно-частного партнерства. Развертывание станций является хорошей предпосылкой для распространения транспортных средств на водородных топливных элементах, включая автомобили, автобусы и грузовики.

⁷⁰ <https://renen.ru/kenr-planiruet-postroit-bolee-1200-vodorodnyh-zapravok-do-kontsa-2025-g/>

⁷¹ https://www.cdu.ru/tek_russia/issue/2024/2/1230/



ЕАЭС

В настоящее время в Российской Федерации действует единственная в ЕАЭС водородная заправочная станция производства ООО «Поликом». Однако в стратегических документах Российской Федерации и Республики Казахстан отмечены целевые показатели по развитию водородной заправочной инфраструктуры (см. раздел 3), что свидетельствует о возможности дальнейшего развертывания такой инфраструктуры в ЕАЭС в долгосрочной перспективе.

В настоящее время рядом российских производителей (ООО «Новая Сервисная компания», ООО «Инзарус», ООО «Газохим Инжиниринг», ООО «Водородная энергетика», ООО «ТК «Сидера», ООО «Инжиниринговый центр «Автономная энергетика», Центр водородных технологий АФК «Система») проводятся разработки заправочных решений как мобильного, так и стационарного типа для дальнейшего создания опытных образцов, и внедрения разработок.

Тенденции по созданию ВЗС в мире позволяют условно разделить производителей водородной инфраструктуры на несколько групп, указанных в таблице 9.

Таблица 9 - Классификация производителей водородных заправочных станций в мире⁷²

Специализация производителей заправочных станций 	Рынок	Комментарий
Промышленные газовые компании Air Liquide, Air Products, Linde	США, Европа, Китай, Япония и Южная Корея 	Промышленные газовые компании инвестируют в комплексные водородные решения: от производства водорода до его распределения и от производства водородного энергетического оборудования до системной интеграции. Они, как правило, обладают передовыми технологиями и мощностями, способными производить, хранить и транспортировать водород в больших масштабах, а также напрямую участвуют в проектировании, строительстве и эксплуатации ВЗС. ⁷³
Энергетические компании	Китай	Энергетические компании имеют преимущества в виде сильного капитала, существующей сети заправочных и газовых

⁷² На основе информации официальных сайтов производителей заправочной инфраструктуры

⁷³ <https://interactanalysis.com/insight/who-is-deploying-hydrogen-refueling-stations/>



Sinopec, Shell, Total Energies, Iwatani, AVIA, OMV, HTEC, ENEOS		станций, а также операционного опыта для содействия строительству и эксплуатации ВЗС. Эти компании в основном строят многотопливные или комплексные заправочные станции (комбинирующие бензин, водород и зарядку аккумуляторов).
Компании по производству ВЗС First Element Fuel, Kohygen, H2 Mobility, Hynpulsion, Hynet, JHyM	Европа, Америка, Япония и Южная Корея 	Производители ВЗС, развивающие крупнейшие сети заправочных станций, инвестирующих по всей цепочке поставок водорода, от производства и хранения до транспортировки и использования водорода.
Поставщики оборудования для ВЗС Hydrexia, Hydrosys, другие		Компании поставляют ключевое оборудование ВЗС: компрессоры, дозаторы и резервуары для хранения, а также предлагают интегрированные системы. Будучи важными участниками строительства ВЗС, некоторые поставщики оборудования также строят собственные водородные станции. Однако это больше демонстрационные проекты для производимого оборудования и систем.

Таким образом, мировые тенденции указывают на рост роли водородного транспорта, особенно в тяжелых и коммерческих сегментах, укрепление государственной поддержки и повышение заинтересованности частного бизнеса. Перспективы развития позитивные: ожидается, что к 2050 г. водородный транспорт займёт важную долю в глобальной транспортной системе, особенно для грузов и дальних пассажирских перевозок, и станет значимым фактором снижения выбросов.

Проблемы, препятствующие широкому внедрению водородного транспорта в мире и государствах-членах ЕАЭС

На сегодняшний день **проблемы с широким внедрением водородного транспорта можно разделить на 3 блока:**

1. **Экономические проблемы:** высокая стоимость водородного топлива, отсутствие спроса на зеленый водород, отсутствие широкого круга конечных потребителей водородного транспорта, нехватка квалифицированных кадров.

2. **Технологические проблемы:** сюда можно отнести относительную незрелость водородных технологий, проблемы обеспечения безопасности водорода, необходимость строительства новых водородных АЗС, поскольку водородные заправки отличаются от обычных АЗС.

3. **Институциональные проблемы:** неготовность нормативно-правовой базы для широкого внедрения водородного транспорта, недостаточное



международное сотрудничество по вопросам обмена технологиями, компетенциями, опытом по реализации пилотных проектов. Ввиду несформированности водородных стандартов и проведения опытов с обращением транспорта у населения и в органах государственной власти имеются опасения по поводу применения водорода на транспорте.

1. Экономические проблемы.

Анализ международного опыта применения водородного транспорта показывает сильную зависимость темпов развития отрасли водородных автомобилей от заправочной инфраструктуры.

В настоящее время сложилась парадоксальная взаимозависимость развития водородного транспорта и строительства водородных заправок: заправки не строятся, поскольку они не окупаются, а водородные транспортные средства широко не распространены ввиду отсутствия развитой инфраструктуры в странах мира.

Так, в США в 2024 г. сложилась ситуация, когда потребители, использующие японский автомобиль на водородном топливе Toyota Mirai столкнулись с тем, что количество заправочных водородных станций является крайне малым и находится на значительном расстоянии от города.

Строительство водородной станции изначально обходится очень дорого. Между тем количество моделей на топливных ячейках, которые находятся в эксплуатации (Toyota Mirai, Hyundai Nexa и Honda Clarity Fuel Cell) невелико для окупаемости водородных АЗС.

В этой связи приоритетность создания водородных автомобилей в ЕАЭС не рассматривается. Данная проблема может быть в последующем решена посредством широкого распространения пассажирской и грузовой техники на водородном транспорте.

Наиболее эффективным будет использование водородного топлива в тяжелом машиностроении, сельскохозяйственной технике, общественном транспорте, в тех отраслях, где есть четкие маршруты для планирования заправочной инфраструктуры и возможность использования энергоэффективных преимуществ водорода (отсутствие необходимости заправки на дальних дистанциях, устойчивая работа в холодных условиях, бесшумность и отсутствие выбросов CO₂ в случае заправки низкоуглеродным водородом).

2. Технологические проблемы.

Водородные автомобили не лишены недостатков. Одним из них является низкая энергоэффективность, которая может составлять всего несколько десятков процентов при преобразовании водорода в электричество. Энергия теряется на



каждом этапе – добыча водорода, сжатие, сжижение, транспортировка и выработка электроэнергии в топливном элементе. Хранение водорода обходится дорого, поэтому распространение водородных заправочных станций не имеет высоких темпов в странах мира.

Также имеются проблемы технического характера, например, помимо дефицита водородного топлива, бывают случаи, когда Mirai примерзает к водородному соплу из-за чрезвычайно низких температур при которых хранится водород из-за чего часами приходится ждать техника, который разморозит машину.

3. Отсутствие разработанных стандартов и сертификатов безопасности.

Еще одним препятствием на пути широкого распространения транспорта на водородном топливе становится отсутствие утвержденных единых стандартов безопасности при эксплуатации водородного транспорта, водородных АЗС.

Проработкой этой проблемы в Российской Федерации занимается Технический комитет «Водородные технологии» (ТК29).

Ключевым решением для развития водородной заправочной инфраструктуры в ЕАЭС может стать использование водородных транспортных средств вблизи существующих источников водорода, таких как промышленные предприятия, порты и солнечные и ветровые электростанции, которые производят водород с помощью избыточного электричества посредством электролиза. В таких случаях затраты на инфраструктуру и затраты на транспортировку водорода могут быть снижены, что позволит водородным транспортным средствам стать конкурентоспособными. Данное решение подойдет Республике Армения (в случае организации производства зеленого водорода из солнечной энергии), Республике Казахстан (при реализации проекта Hurasia One), Кыргызской Республике (при производстве водорода на основе ВИЭ) и Российской Федерации (подобный проект уже реализуется на территории о. Сахалин Госкорпорацией «Росатом»).



3. Предпосылки и текущий уровень развития водородного транспорта в государствах-членах ЕАЭС

Ввиду протяженной территории государств-членов ЕАЭС и разницей в температурных режимах развитие водородного транспорта представляется перспективным направлением.

Вместе с тем повсеместное распространение водородных автомобилей в Евразийском экономическом союзе в настоящее время не представляется возможным ввиду отсутствия сформированной нормативно-правовой базы в сфере водородной энергетики в отдельных государствах-членах, отсутствия заправочной инфраструктуры, несовершенства системы стандартизации в сфере водородной безопасности, сертификации водородного оборудования, высокой стоимости водородного топлива и опасений населения в связи со сформировавшимся восприятием водорода как взрывоопасного вещества.

Таблица 10 - Стратегические документы и нормативно-правовая база в сфере водородной энергетики и водородного транспорта

					
Наличие стратегических документов	-	+	-	-	+
Государственные инвестиции в развитие	-	+	-	-	+
Научные исследования	-	+	+	-	+
Разработки	-	+	+	-	+
Пилотные образцы	-	-	+	-	+
Серийное производство	-	-	-	-	-

Основные направления развития водородного транспорта, которые могут быть востребованы в государствах-членах ЕАЭС в ближайшие годы и по которым в отдельных странах Союза проводится исследовательская, опытно-конструкторская работа по подготовке опытных образцов водородной техники:

- создание топливных (водородных) элементов для электротранспорта;
- водородные автобусы;



- водородные грузовики, тяжелая и сельскохозяйственная техника;
- водородные поезда;
- беспилотные летательные аппараты на водородном топливе;
- плавучие суда на водороде;
- комплектующие и материалы для реализации пилотных образцов для производства водородного транспорта.

Страны Союза на сегодняшний день находятся на разном уровне развития водородного транспорта: если в России реализуются пилотные проекты по созданию различных видов водородного транспорта, в Казахстане намечены стратегические цели и проводятся исследования и анализ основных игроков международного рынка для выбора основных партнеров для применения их опыта на своей территории, то Республика Беларусь, Республика Армения и Кыргызская Республика не имеют стратегических документов, направленных на развитие данного направления, имеются лишь единичные обсуждения водородных проектов и отдельные инициативы по созданию пилотных образцов техники (БЕЛАЗ - самосвал на водороде).

В то же время у предприятий Союза уже сейчас имеются технологические заделы для создания водородного транспорта, водородной инфраструктуры и комплектующих.

В ЕАЭС имеется несколько производителей нержавеющей стали марки 316 с содержанием никеля 12%, используемой для изготовления комплектующих, взаимодействующих с водородом и препятствующей охрупчиванию: ОАО «Челябинский металлургический завод»; ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат»; ОАО «Северсталь» (РФ); Завод нержавеющей стали «Технониколь» (РБ), что в дальнейшем может быть использовано для создания кооперационных цепочек по созданию инфраструктуры и будет содействовать импортозамещению иностранных материалов.

В части материалов, используемых для строительства ВЗС разработки инфраструктуры для транспортных средств на водородном топливе должны обращать особое внимание на состав нержавеющей стали. Высокое содержание хрома и никеля может предотвратить водородное охрупчивание благодаря повышению пластичности и стойкости к коррозии. Согласно требованиям Американского общества по испытанию материалов (American Society for Testing and Materials, ASTM) нержавеющая сталь 316 должна содержать как минимум 10 % никеля, но для водородных систем лучше подходит нержавеющая сталь 316 более высокого качества с содержанием никеля 12 %.

Далее в Обзоре будет более подробно отражены предпосылки развития водородного транспорта в ЕАЭС. Сведения данного раздела Обзора носят информативный характер и видение Департамента промышленной политики



Евразийской экономической комиссии и не могут оказывать влияние на национальные компетенции Сторон по вопросам реализации государственных политик в сфере развития водородного транспорта.

Республика Армения

2 апреля 2021 г. правительство Республики Армения утвердило «Парижское соглашение» в рамках действий, определенных на национальном уровне Республики Армения на 2021-2030 гг. В соответствии с документом Арменией поставлена цель по смягчению последствий изменения климата в масштабах всей экономики: к 2030 г. сократить выбросы парниковых газов на 40% в сравнении с уровнем 1990 г.

Для этого рассматриваются меры по снижению выбросов CO₂, в том числе в транспортном секторе. На долю транспортного сектора в Республике Армения приходится порядка 30% энергопотребления в стране.

В Республике Армения отсутствует утвержденная стратегия по развитию водородной отрасли, основное внимание уделяется развитию возобновляемых источников энергии.

Страна обладает потенциалом по производству водорода методом электролиза на основе солнечной энергии, однако данный вопрос находится на начальной стадии проработки (проводится оценка целесообразности запуска таких проектов и привлечения иностранных инвесторов).

В то же время наблюдается интерес к развитию водородной инфраструктуры со Стороны государственных органов и ассоциаций, так Фондом Возобновляемой энергетики и энергосбережения Армении и французским предприятием ЗАО «Группа Солжес Энерджи» (Solges Energy) подписан Меморандум о взаимопонимании, направленный на развитие инновационной, возобновляемой энергетики в Армении, согласно которому планируется построить первую в Армении демонстрационную водородную заправочную станцию.

Установление целей по достижению углеродной нейтральности в Армении в перспективе потребует принятия мер, затрагивающих транспортный сектор, к ним могут быть отнесены снижение автопарков общественного и грузового транспорта, использующих двигатели внутреннего сгорания, установление экологических ограничений по выбросам, принятие мер стимулирующего характера в виде льготных парковок, приоритетного проезда, субсидий, налоговых льгот.

Запуск пилотных водородных электробусов, поэтапное развитие водородной заправочной инфраструктуры вокруг предприятий, производящих водород – первые шаги, с которых начинают развитие водородной экономики страны по всему миру.



Для развития водородных технологий в республике в дальнейшем потребуются разработка и принятие стратегических документов, определяющих цели и задачи.

Данные меры определяются на национальном уровне, не являются целью данного Обзора и не относятся к компетенции Комиссии.

Республика Беларусь

Обеспечение экологической безопасности, переход к рациональным моделям производства и потребления закреплены в ключевых государственных документах — в Национальной стратегии устойчивого развития Беларуси на период до 2035 г., Программе социально-экономического развития на 2021—2025 гг. В стране реализуется Национальный план действий по развитию «зеленой» экономики.

В настоящее время в Республике Беларусь отсутствуют стратегические документы, напрямую затрагивающие развитие водородной отрасли и водородного транспорта.

При этом доля электрифицированных транспортных средств, осуществляющих перевозки пассажиров городским электрическим транспортом, метрополитеном и автомобильным транспортом общего пользования, по итогам 2022 г. оценивается на уровне 27 %, а в Минске — на уровне 50 %.⁷⁴

Широкое внедрение электрифицированного транспорта создает предпосылки для разработки новых решений с использованием водородных топливных элементов в стране в отдаленной перспективе.

Крупнейшие машиностроительные предприятия Республики Беларусь начинают рассматривать водородные технологии в сфере транспорта в качестве перспективных.

В 2024 г. БЕЛАЗ подписано соглашение с представителями правительства Сахалинской области, АО «Русатом Оверсиз», АО «Новые производственные технологии» и Московским физико-техническим институтом, предусматривающее поставку трех 130-тонных самосвалов-гибридов, использующих в качестве топлива водород, для начала их опытной эксплуатации на Сахалине (Российская Федерация). На первом этапе проекта к середине 2025 г. 1 или 2 130-тонных самосвала на водороде должны приступить к работе.

ОАО «БКМ Холдинг» рассматривает возможность создания электробуса на водородных топливных элементах в связи с тем, что батарея имеет ограниченную емкость (порядка 200 км на одной зарядке) и использование водородных автобусов в перспективе на дальние расстояния представляется экономически целесообразным.

⁷⁴ <https://www.minpriroda.gov.by/ru/news-ru/view/andrej-xudyk-o-mirovyx-klimaticheskix-problemah-putjax-ix-preodolenija-klimaticheskij-povestke-belarusi-5419/>



Одним из приоритетов в Стратегии устойчивого развития Республики Беларусь до 2035 г. обозначено освоение производства беспилотных транспортных средств и сельхозтехники (пригодной для высокоточного земледелия). В этой связи могут быть рассмотрены водородные решения, являющиеся перспективными и экономически эффективными в данных видах транспорта. Имеющийся успешный опыт по созданию пилотных образцов и водородных топливных элементов в России может быть использован в совместных проектах.

Белорусская промышленность обладает значительным потенциалом для адаптации существующих мощностей к производству комплектующих для водородного транспорта. Крупные предприятия (МАЗ, БЕЛАЗ, МТЗ) обеспечивают базу для создания высокоточных механических и силовых узлов, в то время как компании, работающие в сфере полимеров (например, Белпласт) и электроники (участники Hi-Tech Park), могут обеспечить выпуск компонентов для корпуса, резервуаров и систем управления. Для перехода на специализированное производство потребуется дополнительная модернизация и инвестиции в НИОКР, что позволит адаптировать международный опыт и интегрировать его в белорусские реалии.

В Беларуси уже существуют крупные предприятия, обладающие развитой промышленной базой в области металлообработки, машиностроения, производства полимерных изделий и электроники, которые могут быть адаптированы для изготовления комплектующих для водородного транспорта.

Республика Казахстан

В настоящее время Казахстан нацелен на развитие и широкое распространение технологий, способствующих снижению уровня выбросов CO₂ и реализации Парижского соглашения.

Ввиду климатических особенностей и выгодному географическому положению Республика Казахстан в перспективе сможет стать одним из мировых центров по производству «зеленого» водорода и соответственно развития водородных технологий, в том числе в части их применения на транспорте.

В настоящее время Казахстан становится активным участником водородной повестки в мире в связи с благоприятными условиями по производству зеленого водорода на основе возобновляемых источников энергии (солнце, ветер). На сегодняшний день на территории страны реализуется проект HyrAsia One европейской компании SVEVIND Energy Group по созданию производства зеленого водорода посредством размещения ветряных и солнечных электростанций общей мощностью 40 гигаватт.



В рамках данного проекта планируется создание ветрово-солнечной водородной станции в Центральной Азии, которая будет генерировать до 2 млн тонн зелёного водорода или 11 млн тонн зелёного аммиака ежегодно. Для этого на обширных степных территориях юго-западного Казахстана Мангистауской области около Каспийского моря установят миллионы солнечных панелей и тысячи ветряных турбин. Производимая зелёная электроэнергия будет использована для получения водорода путём электролиза воды, который затем может быть преобразован в аммиак на синтезирующих установках. В настоящее время HyrAsiaOne находится на стадии предварительного проектирования, окончательное инвестиционное решение должно быть принято в 2026 г.⁷⁵

Также совместно с иностранными партнерами прорабатываются решения по будущим поставкам зеленого водорода в европейские страны и на рынки Азии, Ближнего Востока через казахстанский порт Курык и многофункциональный терминал «Саржа».

Казахстан активно развивает кооперационные связи с зарубежными партнерами по водородной повестке - подписан договор о создании Альянса «Зеленого водорода» между представителями технологических компаний Германии, Италии, Испании и Казахстана.

Альянс призван объединить усилия сторон, путем обмена опытом и поиска общих решений при реализации проектов в сфере «зеленого» водорода. В числе учредителей Ассоциации выступили Linde (Германия), Svevind Energy GmbH (Германия), Roedl&Partners (Германия), Qazaq Gaz (Казахстан), Atasu Group (Казахстан), Green Spark LTD (Италия), Green Finance Center – AIFC (Казахстан), GCA Partners (Казахстан), Ajusa Hydrogen Technologies (Испания) и другие международные компании из ЕС. Инициатором и автором создания Альянса «Зеленого водорода» в Казахстане выступил Investment Task Force KAZAKH INVEST.⁷⁶

Также АО «НК «Kazakh Invest» и корейская ассоциация водородной промышленности подписали Меморандум о взаимопонимании, направленный на укрепление сотрудничества в области водородной промышленности 2-х стран.

Формирование нормативно-правовой базы

На сегодняшний день в стране заложены правовые основы для развития водородного транспорта и водородной энергетики в целом.

⁷⁵ <https://hyrasia.one/>

⁷⁶ <https://invest.gov.kz/ru/media-center/press-releases/green-hydrogen-alliance-established-in-kazakhstan-with-the-participation-of-9-transnational-companies/>



Указом Президента Республики Казахстан от 2 февраля 2023 г. № 121 утверждена Стратегия по достижению углеродной нейтральности к 2060 г., в которой отражены положения в части водородной энергетики.

Приказом Министерства энергетики Республики Казахстан от 27 сентября 2024 г. № 342 утверждена Концепция развития водородной энергетики в Республике Казахстан до 2030 г., которая содержит отдельные положения по развитию водородного транспорта и инфраструктуры.

В частности, к 2030 г. планируется внедрение водородных автобусов в не менее 3-х городах; развитие сети водородных заправок, обеспечивающих бесперебойное обслуживание транспорта к 2030 г.

В документе также содержится план действий по реализации Концепции развития водородной энергетики в Республике Казахстан до 2030 г.

В 2028 г. начнется реализация проектов по строительству водородных заправок и пилотных проектов по использованию водорода в промышленных и энергетических секторах. В 2029 г. планируется разработать рекомендации для бизнеса по внедрению и адаптации водородных технологий и проведение анализа рынков для экспорта водорода, также начнут «обсуждение и подготовку стратегий для дальнейшего развития водородной энергетики до 2035 г.».

Отдельное внимание будет уделено разработке стандартов безопасности водорода.

Реализация совместных проектов с государствами-членами ЕАЭС и обмен опытом по реализации действующих пилотных проектов по производству водородного транспорта, комплектующих для него, водородной инфраструктуры в ЕАЭС может стать одним из средств для достижения намеченных целей в случае заинтересованности Казахстана.

В настоящее время на территории страны реализуются первые практические шаги по развитию водородного направления, в том числе водородного транспорта. Так, в Атырау на базе ТОО «КМГ Инжиниринг» работает уникальная лаборатория, в которой проводятся научно-исследовательские работы по разработке и внедрению в промышленность технологий безопасного хранения и транспортировки водорода. Работа ведется в рамках программы низкоуглеродного развития, уже получены первые образцы сплавов на основе титана, которые позволяют хранить и транспортировать водород в безопасных условиях, что в дальнейшем может быть использовано при развитии водородной заправочной инфраструктуры.



Проводятся исследования и разработки по возможности внедрения различного вида водородного транспорта. Например, Национальным ядерным центром Республики Казахстан проводятся исследования по снижению потребления топлива и сокращению выбросов на 20%, а также переводу карьерного транспорта на водородное топливо, которые вызывают интерес со стороны основных производителей и экспертов горнодобывающей отрасли.

В рамках программы низкоуглеродного развития «КазМунайГаз» был создан Центр компетенций по водородной энергетике, который занимается исследованиями в области экологичного топлива и внедрению технологий, связанных с низкоуглеродной энергетикой, включая водородную и ВИЭ.

Развитие водородного транспорта в Казахстане, особенно в части автобусных перевозок и грузовиков представляет особый интерес, ввиду холодных климатических условий. При снижении температуры использование данных видов водородного транспорта становится экономически целесообразным ввиду меньших потерь эффективности и запаса хода по сравнению с электробусами и грузовиками на аккумуляторных батареях, что можно учитывать при планировании замещения дизельных и бензиновых автобусов транспортными средствами с низкими выбросами в целях реализации климатической повестки.

Для стимулирования развития водородного транспорта в Казахстане могут быть использованы следующие преимущества:

- 1) производство зеленого водорода может стать мощным рычагом для развития водородной заправочной инфраструктуры;
- 2) Казахстан располагает сырьевой базой для производства металлоконструкций, композитных материалов и электроники. Разработка локальных производственных мощностей для изготовления топливных элементов, систем хранения водорода и других компонентов позволит снизить импортозависимость и создать дополнительные рабочие места.
- 3) Казахстан обладает развитой научно-исследовательской базой для развития водородных технологий, а также широким кругом контактов с международными исследовательскими организациями, что позволит обмениваться компетенциями при реализации водородных транспортных проектов.



Кыргызская Республика

Кыргызская Республика в настоящее время не располагает сформированной нормативно-правовой базой в водородной отрасли. Национальные стратегические документы в Кыргызской Республике преимущественно направлены на развитие возобновляемых источников энергии. Для успешной реализации водородной повестки в стране необходимо в дальнейшем формирование стратегических документов и нормативно-правовой базы.

В стране имеется значительный гидроэнергетический потенциал, который может быть использован для производства «зелёного» водорода посредством электролиза воды, что при успешной реализации может быть использовано для создания пилотных проектов по производству и установке водородной инфраструктуры.

Некоторые кыргызские предприятия уже занимаются производством изделий из пластмасс, что может быть адаптировано для изготовления корпуса или оболочек для компонентов водородных систем. Также кыргызские предприятия, участвующие в сборке электрооборудования и производстве компонентов систем контроля и мониторинга, в перспективе способны создавать элементы, необходимые для управления и безопасности водородных установок. Эти технологии могут быть адаптированы для интеграции в топливные системы транспортных средств.

Для перехода от базовых возможностей к специализированному производству необходимы инвестиции в научно-исследовательские разработки и адаптацию технологий под требования водородной отрасли, а также тесное взаимодействие с государствами-членами Союза уже реализующими пилотные проекты в сфере водородной энергетики.

Российская Федерация

На сегодняшний день нормативно-правовая база в сфере водородной энергетики среди стран ЕАЭС наиболее развита в Российской Федерации. Принят ряд стратегических документов, в которых отражены положения по развитию водородного транспорта и инфраструктуры.

Задача по развитию водородной энергетики закреплена в ключевом отраслевом документе - Энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2050 г., утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 12.04.2025 № 908-р.

В рамках раздела V «Технологии устойчивого развития топливно-энергетического комплекса» Энергетической стратегии утвержден перечень водородных технологий, необходимых для стабильного роста топливно-



энергетического сектора. В блоке «Водородная энергетика, улавливание, использование и захоронение углекислого газа» одной из задач водородной энергетики определена реализация мер государственной поддержки и стимулирования использования водорода в различных секторах экономики, в том числе для водородного транспорта и водородной заправочной инфраструктуры.

В 2024 г. была обновлена Сводная стратегия развития обрабатывающей промышленности Российской Федерации до 2030 года и на период до 2035 года, утвержденная Распоряжением Правительства Российской Федерации от 06.06.2020 № 1512-р. В вышеуказанную стратегию был добавлен раздел «Приоритетные направления развития водородной промышленности Российской Федерации», в котором определены целеполагание и приоритеты России в сфере водородной промышленности (поддержка научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, создание серийного производства конкурентоспособной промышленной продукции для производства, хранения, транспортировки и применения водорода, создание полигонов для апробации разработанного оборудования, развитие международного сотрудничества, расширение применения водорода в различных секторах экономики). Приоритетными группами продукции водородной промышленности в том числе являются водородные заправочные станции и энергетические установки на водородных топливных элементах.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 5 августа 2021 г. №2162-р утвержден основной стратегический документ в сфере водородной энергетики – Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации.

Реализация Концепции осуществляется в рамках государственной энергетической политики Российской Федерации. Концепция дополняет и конкретизирует Энергетическую стратегию Российской Федерации на период до 2035 г., утвержденную распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 г. № 1523-р, в части развития водородной энергетики.

Концепция развития водородной энергетики в Российской Федерации (далее - Концепция) определяет цели, задачи, стратегические инициативы и ключевые меры по развитию водородной энергетики в Российской Федерации на среднесрочный период до 2024 г., долгосрочный период до 2035 г., а также основные ориентиры на перспективу до 2050 г.

В состав стратегических инициатив и ключевых мер, обозначенных в Концепции включены положения по производству и внедрению в различные сектора экономики Российской Федерации топливных элементов, газовых турбин, водородных энергетических установок, водородных заправочных станций, водородного транспорта и робототехники (Раздел V, п.29 пп. г), по созданию



опытных образцов водородного автомобильного (в первую очередь автобусов и грузовых автомобилей) и железнодорожного транспорта с последующей реализацией пилотных проектов применения водородного транспорта в крупных городах в целях снижения экологической нагрузки; по созданию необходимой инфраструктуры для водородного транспорта (заправочные станции) (Раздел V, п. 35,пп б, в).

В настоящее время реализуется 2 этап Концепции (2025 - 2035 гг.), который предполагает запуск первых коммерческих проектов в сфере водородного транспорта: планируются серийное и массовое применение водородных технологий, масштабирование производства и экспорта топливных элементов, газовых турбин, водородных энергоустановок, водородных заправок, водородного транспорта и робототехники.

Решением межведомственной рабочей группы по развитию водородной энергетики в Российской Федерации утверждена «дорожная карта» развития высокотехнологичного направления «Развитие водородной энергетики» на период до 2030 г., предусматривающая реализацию заключенных соглашений с ключевыми разработчиками и исполнителями водородных решений в стране: Госкорпорации «Росатом», ПАО «Газпром», к данной инициативе позднее присоединилась АФК «Система».

Планом мероприятий («дорожной картой») по развитию водородной энергетики предусмотрены следующие основные направления работ: стимулирование спроса на внутреннем рынке на топливные элементы на водороде в российском транспорте, а также на использование водорода и энергетических смесей на его основе в качестве накопителей и преобразователей энергии для повышения эффективности централизованных систем энергоснабжения.

Целью данной дорожной карты является развитие научно-технического потенциала Российской Федерации в области водородной энергетики для разработки, совершенствования и коммерциализации водородных технологий, обеспечения промышленной безопасности их применения, оценки и снижения отрицательного воздействия на окружающую среду, удешевления промышленного производства водорода и базового оборудования. Технологическое развитие призвано обеспечить решение нескольких задач: создание и развитие приоритетных и критически значимых водородных технологий.

На текущий момент Россия занимает пятое место в мире по объемам производства водорода, уступая Китаю, США, ЕС и Индии, а ее доля на мировом рынке составляет около 7%. К 2030 г. планируется увеличить этот показатель до 20%, что делает его применение в транспортном секторе привлекательным.



В отличие от Китая, где 62% водорода производится из угля путем газификации, в России основным методом остается паровая конверсия природного газа. Этот процесс требует более 28 млрд куб. м природного газа, что составляет около 6% от его внутреннего потребления в стране.

В связи с наличием обширных стратегических планов в Российской Федерации проводятся исследования и разработки, создаются пилотные проекты и прототипы водородной техники. Ниже приведен перечень разрабатываемой техники (подробное описание российских разработок прилагается к данному Обзору)⁷⁷.

В сфере железнодорожного транспорта: в 2024 г. водородным кластером АО «ВНИИЖТ» и АО «ВНИКТИ» проведены исследования возможности применения водородных технологий на железной дороге, сформированы требования к техническим средствам, поводится разработка нормативно - правовой базы, к 2026 г. планируется реализовать 2 проекта по созданию пригородного поезда на топливных элементах для о. Сахалин, по созданию семейства маневровых водородных локомотивов.

В сфере коммерческих автомобилей и пассажирской техники: а) рядом производителей (ПАО «КАМАЗ», ГК «Волгабас», Объединенный инженерный центр (группа ГАЗ)) реализуются проекты по созданию водородных автобусов, предусматривающих применение в рамках междугородних и городских условиях.

КАМАЗ создал водоробус, способный проехать 400 км без дозаправки; на данный момент модель существует лишь в пилотном исполнении.

В 2025 г. планируется запуск парка водоробусов и зарядной станции для такого вида транспорта в Набережных Челнах. По части инфраструктуры для транспорта предприятие сотрудничает с Госкорпорацией «Росатом».

б) ПАО «КАМАЗ» при участии Центра водородных технологий АФК «Система» реализуется проект по созданию водородного грузовика грузовик КАМАЗ-53193 «Чистогор» с запасом хода до 1000 км (500 км на этапе испытаний).

Российской компанией Evocargo разработан малогабаритный беспилотный грузовик Evocargo N1. В качестве топлива для него может использоваться электроэнергия, полученная обычным способом, или выработанная из водородных топливных элементов.

Реализуется совместный проект инженеров МФТИ и компаний «Вездеходы для Севера», «Кубо» и «Гидроген Энерджи» в рамках которого создан опытный образец вездехода на водороде «Русак К-10». «Русак К-10» обладает автономностью хода до 400-500 км по пересеченной местности. Топливный элемент питается от шести

⁷⁷ Данные подготовлены на основе информации, полученной ЕЭК в рамках отраслевых мероприятий в сфере водородной энергетики



баллонов на 1200 литров с давлением 350 бар, производя около 120 КВт мощности. Автомобиль обладает положительной плавучестью, его шины низкого давления минимально воздействуют на окружающую среду, а из выхлопной трубы течет дистиллированная вода. На данный момент это самый экологичный вид транспорта из существующих «в металле», который потенциально может ездить по тундре.

Инжиниринговым центром «Липгарт» МГТУ им. Н.Э.Баумана, а также ООО «Инжиниринговый центр «Автономная энергетика» проводятся разработки решений для карьерных самосвалов.

АО «АЗ «Урал» и Инжиниринговым центром «Липгарт» МГТУ им. Н.Э. Баумана разрабатывается модульная платформа для создания линейки электрогрузовиков с различными вариантами силовых установок для применения в городских коммунальных службах, логистике и строительстве.

В сфере малой авиации (БПЛА): ГК «Икар» создан водородный БПЛА мультироторного типа для доставки грузов в труднодоступные районы, продолжаются летные испытания.

ООО «Аэромакс» ведется разработка водородного БПЛА вертолетного типа с увеличенной дальностью полета с топливными элементами, разработанными Центром водородных технологий АФК «Система». В настоящее время подготовлен опытный образец и проводятся доработки и испытания машины.

ООО «ТК «Сидера» проведены испытания беспилотных авиационных систем с использованием искусственного интеллекта для особо суровых северных климатических территорий, планируются разработки прототипа грузопассажирского летательного аппарата для малой авиации с применением топливных элементов на водороде.

ООО «Инжиниринговый центр «Автономная энергетика» создан БПЛА на водородном топливном элементе для работы в арктических условиях.

В сфере судоходства: Sitronics group создан пилотный образец речного катамарана с энергоустановкой на топливных элементах производства АФК «Система» для перевозки пассажиров с повышенной грузоподъемностью, дальностью хода и меньшим количеством времени дозаправки (около 10 минут). Проводятся тестовые испытания и доработка образца.

ФГУП «Крыловский государственный научный центр» совместно с АО «Зеленодольский завод имени А.М. Горького» выполнено строительство опытного образца прогулочно-экскурсионного судна.

ООО «ТК «Сидера» планируется разработка аэролодки мощностью до 500 л.с. на водороде.

В сфере водородной заправочной инфраструктуры: ООО «Поликом» создана действующая ВЗС, созданная из отечественных комплектующих.



Проводятся разработки водородной заправочной инфраструктуры ООО «НСК» и другими компаниями (указаны в приложении к Обзору). ООО «НСК» разрабатывается инновационное водородное оборудование, которое ранее не выпускалось на территории РФ (водородные ожижители, предназначенные для получения и хранения сжиженного водорода).

Масштабной площадкой для тестирования работы водородного транспорта становится о. Сахалин, здесь будут использовать современные разработки водородных поездов, карьерного самосвала БЕЛАЗ, водородный автобус.

Легковые автомобили на водородных топливных элементах разрабатывают специалисты НАМИ, созданы отдельные образцы - модель Aurus Senat.

Анализ потенциала использования водородного транспорта в ЕАЭС

Страны ЕАЭС обладают уникальными особенностями, которые определяют потенциал для использования и производства водородного транспорта. Далее будет приведена информация о возможном потенциале развития водородного транспорта на отдаленную перспективу с учетом сохраняющихся тенденций по переходу к экологичным видам транспорта в странах Союза.

Протяженные расстояния и география. Россия и Казахстан имеют огромные территории с населенными пунктами и предприятиями, находящимися на отдаленном расстоянии. Водородные решения могут быть рассмотрены и использованы государствами-членами в сфере железнодорожного сообщения на участках, где отсутствуют линии электропередач для электрификации ж/д и грузового транспорта.

Железные дороги. В Российской Федерации около 50% железных дорог не электрифицировано (особенно на Востоке). В Казахстане – данный показатель больше. Они сейчас обслуживаются тепловозами на дизеле. С развитием технологии и создания инфраструктуры водородные локомотивы могли бы постепенно заменять дизель, не требуя дорогостоящей электрификации линий.

Потенциал – десятки составов в регионах Сибири, Дальнего Востока, Казахстанского плато. Особенно это актуально для экологически чувствительных зон (заповедники, горные курорты), где исключение выхлопов дизеля принесет пользу.

Дальнобойные грузоперевозки. ЕАЭС – единое пространство с большими объемами транзита. Батарейные фуры на дальние дистанции мало пригодны (для их работы необходимо строительство сети мега-зарядок, но существуют большие простои на зарядку), а водородные – могут проезжать 800–1000 км на одном баке и заправляться за 15 минут. При условии создания заправок через каждые 300 км, водородные грузовики могли бы эффективно работать. Преимущества водородных грузовиков могут использоваться в условиях континентального климата: в -30°C



у батарей падает емкость, а водородные системы легче поддерживать (отработанное тепло топливного элемента можно использовать для обогрева). Таким образом, потенциал для магистральных перевозок между странами Союза в отдаленной перспективе может быть значительным при развитии водородных технологий.

Отдаленные районы и автономность. В некоторых регионах Севера и горных районах Кыргызстана/Армении доставка топлива – сложная задача. Если там локально наладить выработку водорода (например, от возобновляемых источников или небольших ГЭС), то можно обеспечить транспорт местного сообщения водородным топливом, не завися от подвоза нефтепродуктов. Это может быть перспективным для горных сел Кыргызстана или для отдаленных арктических поселков в РФ.

Общественный транспорт в крупных городах. Города ЕАЭС (Москва, Санкт-Петербург, Минск, Алматы и др.) испытывают загрязнение воздуха. Электробусы уже внедряются, но у них имеются ограничения по пробегу. Водородные автобусы могли бы дополнить флот, работая на длинных маршрутах без промежуточной подзарядки.

Энергетический и промышленный потенциал. ЕАЭС – регион, богатый энергоносителями, которые можно использовать для производства водорода: в России – природный газ, энергия АЭС, ВИЭ; в Армении – АЭС, ВИЭ; в Беларуси – энергия АЭС; в Казахстане – энергия ВИЭ; в Кыргызстане – ВИЭ, ГЭС.

Природный газ в России и Казахстане может использоваться для получения «голубого» водорода с улавливанием CO₂ – как переходный этап. Это даст доступность топлива, что является ключевым фактором для транспорта.

Промышленность и компетенции. В странах ЕАЭС имеются химические заводы, которые уже работают с водородом (как побочным продуктом) – их опыт может быть использован для стандартизации и безопасности данного вида топлива. Также имеется развитое машиностроение – площадки, где могут освоить выпуск компонентов при должных инвестициях (например, Белорусский завод «Интеграл» в части электроники для топливных систем и т.п.).

Импортозамещение и технологическое сотрудничество. Имеется потенциал по развитию кооперационного сотрудничества и создания совместных проектов по созданию водородного транспорта, используя компетенции каждого из государств-членов (создание отдельных комплектующих, поставка материалов, использование опыта по реализации пилотных проектов).

Подводя итог, потенциал ЕАЭС в водородном транспорте значителен именно ввиду географии и энергоресурсов. При правильном подходе, ЕАЭС сможет не



просто импортировать технологии других государств, а стать одним из центров (хотя бы региональных) развития водородной мобильности, используя свою научную базу и сотрудничая внутри Союза.

Развитие водородного транспорта невозможно без мощной научно-исследовательской и инновационной составляющей, которая в настоящее время формируется в Союзе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ показал, что водородный транспорт динамично развивается на глобальном уровне, становясь важной составляющей перехода к низкоуглеродной экономике. На сегодняшний день технология достигла стадии раннего коммерческого применения: в мире накоплен парк водородных транспортных средств разных типов, создано около 1160 водородных заправочных станций⁷⁸, сформированы полноценные линейки водородной техники (автомобили, автобусы, грузовики, поезда) у ряда крупных производителей.

Главными локомотивами прогресса выступают страны Восточной Азии (Япония, Южная Корея, Китай) и некоторые государства Запада (Германия, США – особенно Калифорния). Правительства этих стран поддерживают отрасль стратегически и финансово – приняты национальные водородные стратегии, выделены миллиарды на исследования и инфраструктуру, установлены целевые ориентиры на десятилетия вперёд.

Вместе с тем глобальная отрасль всё ещё находится в начальной фазе развития: объёмы производства невелики, себестоимость высока, инфраструктура разрежена. Водородный транспорт пока не конкурентоспособен без поддержки на рынке легковых автомобилей – аккумуляторные электромобили ушли вперёд по массовости и удешевлению. Однако в сегменте тяжёлого транспорта (грузовики, автобусы, поезда, суда) водород уже сейчас занимает свою нишу, где он зачастую более целесообразен, чем батареи. Именно эти сегменты становятся движущей силой роста: мировые продажи водородных грузовых и пассажирских коммерческих транспортных средств растут на десятки процентов в год, а подавляющее большинство новых моделей водородного транспорта, выходящих на рынок в 2024–2025 гг., представляют собой грузовики и автобусы. То есть водородный транспорт эволюционирует в сторону решения специфических задач, дополняя электротранспорт, а не напрямую конкурируя с ней.

По оценкам экспертов, в среднесрочной перспективе (до 2035 г.) водородный транспорт займёт прочное место прежде всего в секторах: городские и

⁷⁸ <https://www.h2stations.org/>



междугородные автобусы, магистральные грузовики, железные дороги на неэлектрифицированных линиях, коммунальная и специализированная техника. В легковом индивидуальном транспорте доля останется скромной (если не случится кардинальных технологических прорывов).⁷⁹

Массовое производство и эксплуатация неизбежно приведут к удешевлению компонентов, росту эффективности и появлению новых инноваций. Уже сейчас КПД топливных элементов превышает 60% и ведутся исследования по его повышению до 80%.

В части тенденций развития производства водородного транспорта для ЕАЭС можно заключить, что его возможности и интересы соответствуют мировым трендам: в Союзе актуальны именно те ниши, где водород наиболее оправдан: автобусы, тяжелый транспорт. Многие города ЕАЭС страдают от загрязнения воздуха – водородные автобусы и коммунальная техника могли бы улучшить экологическую обстановку. Также у ЕАЭС есть стимул развивать экспорт водородного топлива и техники, чтобы занять долю на будущем мировом рынке. При грамотном подходе страны Союза способны преодолеть отставание, опираясь на свои сильные стороны:

- **Ресурсная база:** наличие дешёвой электроэнергии от АЭС (в РФ, Беларуси, Армении) и ВИЭ-потенциала (ветер в степях Казахстана, солнце в Средней Азии) позволяет организовать относительно недорогое производство низкоуглеродного водорода.
- **Индустриальная основа:** развитое машиностроение (например, в России – КАМАЗ, ГАЗ, УРАЛ; в Беларуси – МАЗ, БЕЛАЗ; в Казахстане – локомотивостроительные и вагонные заводы; в России и Беларуси – совместный инжиниринг двигателей). Эти предприятия при поддержке государства могут быть переориентированы на выпуск новой техники – водородной. Уже есть первые образцы (автобус КАМАЗ-6290 на топливных элементах, водородный самосвал БЕЛАЗ).
- **Научный и кадровый потенциал:** в России и других странах ЕАЭС работают профильные научные центры.

⁷⁹ IRENA, 2024



Предложения по налаживанию промышленного сотрудничества государств-членов ЕАЭС в сфере производства водородного транспорта

1. Необходимость выравнивания нормативного поля, разработка единых стандартов безопасности, технических регламентов в области промышленной безопасности водородного транспорта и инфраструктуры с учетом международных обязательств является важнейшим шагом для расширения применения данного типа транспорта в государства-членах ЕАЭС.

Ввиду того, что водородный транспорт и инфраструктура для него отличаются от традиционного транспорта, потребуется применение новых подходов и компетенций для персонала, обслуживающих их.

2. Создание демонстрационных, образовательных проектов в сфере водородного транспорта с привлечением научных и промышленных центров государств-членов с целью популяризации данного направления среди населения и органов исполнительной власти государств-членов ЕАЭС.

3. Обмен опытом по реализации пилотных проектов в сфере водородного транспорта.

4. Проработка возможности создания совместных производств водородного транспорта, топливных элементов на основе действующих производственных площадок с использованием механизмов финансирования промышленной кооперации Евразийской экономической комиссии, обеспечивая равноправный доступ к технологическим решениям.

5. Адаптация имеющихся производств машиностроительных предприятий Союза и производителей смежных отраслей промышленности для изготовления комплектующих для водородного транспорта.

6. Создание цепочек поставок комплектующих для создания образцов водородного транспорта в ЕАЭС.

7. Развитие цепочек поставок водорода, систем транспортировки, хранения водорода и заправочной инфраструктуры.

8. Проработка возможности формирования центров евразийских водородных компетенций для разработки новейших технологических решений в сфере водородного транспорта, инфраструктуры, топливных элементов, используемых на таком транспорте.

9. При достижении зрелости водородных технологий на транспорте предлагается рассмотреть возможность формирования транспортных коридоров с ВЗС для запуска пилотных проектов по применению водородного транспорта на трассах государств-членов ЕАЭС (в случае признания целесообразности уполномоченными органами Сторон).



С учетом того, что водородные технологии в транспортном секторе находятся на начальном этапе своего развития у стран Союза есть возможность занять место среди лидеров новой «зеленой» экономики в мире, при условии консолидации усилий по освоению производства ключевых элементов (топливных ячеек, баллонов, электролизёров) и запуска региональных парков водородного транспорта с учетом потенциала каждого государства-члена.

Реализация российских проектов в сфере водородного транспорта

Тип транспорта	Модель/характеристики	Организации разработчики	Стадия реализации проекта
Водородный автомобиль	Aurus Senat.	ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ»	Выпускаются единичные экземпляры.
Водородный автобус	«Volgabus H2».	ООО «Волгабас Групп»	Разрабатывается прототип автобуса, запасом хода 380 км.
	CITYMAX Hydrogen и «Газель City» малого класса с запасом хода 350 км. Планируется расширение линейки автобуса CityMax 9 на водородном двигателе. В конструкции CITYMAX Hydrogen применена отечественная электронная система управления водородной энергетической установкой, разработанная Инжиниринговым центром им. А.А. Липгарта (создан «Группой ГАЗ» совместно с МГТУ им. Н.Э. Баумана).	Объединенный инженерный центр (группа ГАЗ) совместно с Инжиниринговым центром им. А.А. Липгарта	Изготовлены прототипы.
	Водоробус на базе «КАМАЗа-6290», рассчитан на 80 пассажиров, способен развивать скорость до 80 км в час, запас хода составляет 400 километров.	ПАО «КАМАЗ»	Изготовлен опытный образец.
Водородный грузовик	Малогобаритный беспилотный грузовик Evocargo N1. Помимо зарядки электричеством, применяется система энергоснабжения на основе водородных топливных элементов с запасом хода 200 км. В качестве топливного бака для хранения используются композитные баллоны цилиндрической формы.	ООО «Эвокарго» (Evocargo)	Изготовлен опытный образец.
	Грузовик КАМАЗ-53193 «Чистогор» с силовой установкой на водороде. Электромобиль грузоподъемностью свыше 20 тонн может проехать на одной заправке до 500 км.	ПАО «КАМАЗ» и Центр водородных технологий АФК «Система»	Изготовлен образец, проводятся испытания.



	Разработка грузовика на водороде.	ООО «ТК «Сидера»	Осуществляются разработки.
	Планируется проект по внедрению ДВС, работающего на водородном топливе на модельный ряд «Газон», «Валдай».	Объединенный инженерный центр (группа ГАЗ)	Осуществляются разработки.
Вездеход на водороде	«Русак К-10» обладает автономностью хода до 400-500 км по пересеченной местности. Топливный элемент питается от шести баллонов на 1200 литров с давлением 350 бар, производя около 120 КВт мощности.	МФТИ и компании «Вездеходы для Севера», «Кубо» и «Гидроген Энерджи»,	Изготовлен опытный образец.
	Разработка вездехода на водороде.	ООО «ТК «Сидера»	Осуществляются разработки.
Водородные карьерные самосвалы	Пилотный проект по использованию карьерных самосвалов производства ОАО «БЕЛАЗ» на водородном топливе запустят на промышленных объектах РФ.	ООО «Инжиниринговый центр «Автономная энергетика» (совместная компания ГК «Ростех» и МФТИ)	Заканчивается проектирование, идет изготовление узлов и агрегатов. В 2026 г. намечено проведение заводских испытаний с ОАО «БЕЛАЗ».
Водородные платформы для спецтранспорта	Модульная платформа для создания линейки электрогрузовиков с различными вариантами силовых установок, охватывающая ключевые области их применения в городских коммунальных службах, логистике и строительстве. Промтоварные фургоны, мусоровозы, комбинированные дорожные машины, автогидроподъемники, автомобили бортовые с КМУ, вакуумные автомобили.	Инжиниринговый центр «Липгарт» МГТУ им. Н.Э. Баумана, АО «АЗ «Урал»	Разработка энергетической платформы Урал-С220-5НЕ 2024 г. Комплект РКД на интеграцию энергетической установки Сборка прототипа, пуско-наладочные работы.
Водородный БПЛА	Ведется разработка водородного БПЛА вертолетного типа с увеличенной дальностью полета Технические характеристики:	ООО «Аэромакс» совместно с АФК «Система»	Подготовлен опытный образец, проводятся испытания.



	Максимальная скорость 200 км/ч; время полета 3 часа; заправка 10 минут (указанные параметры планируется достичь в рамках испытаний в 2025 г.). Топливные элементы разработаны АФК «Система».		
	Водородный БПЛА мультироторного типа для доставки грузов в труднодоступные районы.	ГК «ИКАР» совместно с АФК «Система»	Продолжаются летные испытания.
	Беспилотные авиационные системы с использованием искусственного интеллекта для особо суровых северных климатических территорий.	ООО «ТК «Сидера»	Проведены испытания разработок.
	Создан БПЛА, использующий в качестве источника энергии водородный топливный элемент, для работы в арктических условиях.	ООО «Инжиниринговый центр «Автономная энергетика» (совместная компания ГК «Ростех» и МФТИ)	Проведены испытания.
Водородный поезд	Пригородный поезд на топливных элементах для о. Сахалин.	ОАО «ТМХ», РЖД, Госкорпорация «Росатом» при поддержке Правительства Сахалинской области	Готовность опытных образцов 2025 г. Сертификация соответствия 2026 г.
	Создание семейства маневровых водородных локомотивов.	Синара транспортные машины, Инжиниринговый центр ж/д транспорта, РЖД	Запланировано создание комплексного стенда натурального моделирования; Предполагается создать пилотный образец и провести испытания и обеспечить опытную эксплуатацию. Срок реализации проекта -2026 г.
Водородные грузопассажирские	Создание прототипа грузопассажирского летательного аппарата для малой авиации с	ООО «ТК «Сидера»	Планируется разработка с применением топливных элементов на водороде



летательные аппараты для малой авиации	применением топливных элементов на водороде мощностью до 350 кВт. и электродвигателем более 1000 л.с.		разработки ООО «ТК «Сидера». Апробация технологии планируется на базе самолета АН-2.
Водородные суда	Электрический катамаран на водородном двигателе. Речные корабли с энергоустановкой на топливных элементах производства АФК «Система» для перевозки пассажиров с повышенной грузоподъемностью, дальностью хода и меньшим количеством времени дозаправки (около 10 минут).	Sitronics group и Центр водородных технологий АФК «Система»	Проведены испытания, изготавливается 2-й образец.
	Прогулочно-экскурсионное судно.	ФГУП «Крыловский государственный научный центр» совместно с АО «Зеленодольский завод имени А.М. Горького»	Проводится ОКР по созданию опытного образца универсального функционального модуля в составе энергетической установки на топливных элементах (УФМ-ЭУТЭ). Создание ВЗС. Выполнено строительство опытного прогулочно-экскурсионного судна с системой электродвижения для оснащения его опытным образцом УФМ-ЭУТЭ.
	Аэролодка с различной вместимостью и мощностью до 500 л.с.	ООО «ТК «Сидера»	Планируется разработка специализированного транспорта с применением топливных элементов на водороде разработки ООО «ТК «Сидера».
Топливные элементы	Топливные элементы для существующих и новых парков электрической складской техники, БПЛА вертолётного и мультироторного типа; для электрических речных катамаранов; грузовиков на водороде.	Центр водородных технологий АФК «Система»	Готовая продукция для адаптации под конкретный водородный проект.
ВЗС	Действующая ВЗС, созданная из отечественных комплектующих.	ООО «Поликом»	Заправка находится в Московской области г. Черноголовка.
	Разрабатывается инновационное водородное оборудование, которое ранее не выпускалось на территории РФ (водородные ожижители,	ООО «Новая Сервисная компания»	Проект на стадии разработки.



	предназначенные для получения и хранения сжиженного водорода). В частности, ведется разработка водородной заправочной станции с применением отечественных комплектующих компрессоры, протонообменные мембраны, электролизеры.		
	Разработка решений для мобильных и стационарных ВЗС.	ООО «Инзарус»	Проект в проработке.
	Разработана ВЗС-панель, предназначенная для заправки небольших потребителей и демо-проектов.	ООО «Газохим Инжиниринг»	Требуется до 4 месяцев для поставки ВЗС-панели.
	Разработка решения мобильной ВЗС (установлена на шасси полуприцепа).		Выполнены разработки.
	Разработка решения стационарной ВЗС.		
	Разработан проект ВЗС в Московской области.	ООО «Водородная энергетика» (ФИОП, АО «Роснано»)	Предложен пилотный проект по созданию ВЗС в Московской области.
	Разработаны стационарные и мобильные ВЗС. Имеются разработки отечественного оборудования и сопутствующих комплектующих (арматуры) для заправки водородного транспорта.	ООО «ТК «Сидера»	Выполнены разработки.
	ВЗС для МАС «Снежинка».	ООО «Инжиниринговый центр «Автономная энергетика» (совместная компания ГК «Ростех» и МФТИ)	Проект выполнен.
	ВЗС для полигона водородных технологий на о. Сахалин.		
	Планируется разработка решений для мобильных водородных заправочных станций.	Центр водородных технологий АФК «Система»	Проект на стадии планирования.



Приложение 2

Перечень компетенций и контактная информация российских разработчиков в сфере водородного транспорта и заправочной инфраструктуры⁸⁰

№ п/п	Наименование организации	Компетенции	Контактные данные
1.	Объединенный инженерный центр (группа ГАЗ)	Водородные автобусы	nca@ncauto.ru +7 (831)280-93-00
		Водородные грузовики	
2.	ООО «Волгабас Групп»	Водородные автобусы	info@bakulingroup.ru +7(495)109-04-20 d.kuzmishchev@bakulingroup.ru
3.	ПАО «КАМАЗ»	Водородные автобусы	call-centre@kamaz.ru kanczgd@kamaz.ru +7 (800)555-00-99 Kornilov.SV@kamaz.ru
4.	ООО «Эвокарго»	Водородные автономные грузовики	+ 7 (495) 926-26-67 sales@evocargo.com
5.	АО «Трансмашхолдинг»	Водородные рельсовые автобусы (поезда)	info@tmholding.ru + 7 (495) 660-89-50
6.	ООО «ТК «Сидера»	Водородные грузовики	info@sidera.tech
		Водородные вездеходы	
		БПЛА	
		Водородная аэролодка	
		Водородные грузопассажирские аппараты для малой авиации	
		ВЗС	
7.	ООО «Центр водородных технологий» АФК «Система»	Водородные речные суда	info@h2ru.pro + 7 (495) 129-12-00
		БПЛА	
		Водородный грузовик	
		Топливные элементы	

⁸⁰Информация Министерства промышленности и торговли Российской Федерации



8.	Инжиниринговый центр «Липгарт» МГТУ им. Н.Э. Баумана	Водородные автобусы совместно с ПАО «ГАЗ»	bauman@bmstu.ru + 7 (499) 263-63-91 lipgart@bmstu.ru buta73@bmstu.ru
		Водородные карьерные самосвалы	
		Водородные платформы для спецтранспорта (промтоварные фургоны, мусоровозы, комбинированные дорожные машины, автогидроподъемники, автомобили бортовые с КМУ, вакуумные автомобили)	
9.	ФГУП «Крыловский государственный научный центр» совместно с АО «Зеленодольский завод имени А.М. Горького»	Водородные речные суда (в том числе прогулочно-экскурсионные)	krylov@ksrc.ru + 7 (812) 415-46-07
10.	ООО «Инжиниринговый центр «Автономная энергетика» (совместная компания ГК «Ростех» и МФТИ)	Водородные вездеходы	h2info@mail.ru + 7 (498) 713-91-48
		БПЛА	
		Водородные карьерные самосвалы	
		ВЗС	
11.	ООО «Поликом»	ВЗС	info@vodorod.pro + 7 (495) 929-71-31 evolkov@vodorod.pro
12.	ООО «НСК»	ВЗС	info@nskomp.ru + 7 (495) 988-49-11 + 7 (861)298-32-45
13.	ФИОП (АО «Роснано»)	ВЗС	info@fiop.site + 7 (495) 988-53-88 info@technospark.ru +7 (499) 271-71-75
14.	ООО «Инзарус»	ВЗС	info@inzarus.ru a.mikhailov@inzarus.ru



15.	ООО «Газохим Инжиниринг»	ВЗС	mail@gaschemeng.com + 7 (347) 294-02-46
-----	-----------------------------	-----	---