



Energy Dialogue
Germany – Central Asia

Краткий анализ

Потенциал использования водорода в транспортном секторе Казахстана



Правовая информация

Издатель:

Немецкое энергетическое агентство (dena)
Chausseestrasse 128 a
10115 Berlin, Germany
Тел: +49 30 66 777-0
Факс: +49 30 66 777-699
Эл. почта: info@dena.de
Веб-сайт: www.dena.de

Автор:

Юрий Мельников, к.т.н., независимый консультант по водородной политике, член рабочей группы по водороду ЕЭК ООН

Последнее обновление:

Декабрь 2023 года

Все права защищены. Любое использование данной публикации возможно только с согласия Немецкого энергетического агентства (dena).

При цитировании данной публикации просим делать следующую ссылку:

Немецкое энергетическое агентство (издатель) (dena / 2023 год) "Потенциал использования водорода в транспортном секторе Казахстана".



Federal Ministry
for Economic Affairs
and Climate Action



Данная публикация была издана в рамках Энергетического Диалога между Казахстаном и Германией по поручению Федерального министерства экономики и защиты климата Германии (BMWK) Немецким энергетическим агенством (dena).

Содержание

Содержание	3
Список сокращений	4
1 Введение	5
2 Краткий анализ транспортного сектора Казахстана	6
3 Потенциальные области применения водорода в транспортном секторе	8
3.1 Контекст и ключевые драйверы	8
3.1. Тяжелые грузовики и автобусы: глобальный контекст	9
3.2. Тяжелые грузовики и автобусы: ситуация в Казахстане	10
3.3. Железнодорожный транспорт.....	11
3.4. Авиация и судоходство	12
3.5. E-fuels (электротоплива)	13
4 Возможности и вызовы для водородного транспорта в Казахстане	14
4.1. Возможности	14
4.2. Барьеры.....	15
5 Выводы и рекомендации	16

Список сокращений

Abkürzung	Bedeutung
BEV	Battery Electric Vehicle (батарейные/аккумуляторные электромобили)
CCUS	Carbon Capture, Utilization, and Storage (захват, использование и хранение углекислого газа)
CTCN	UN Climate Technology Centre and Network (Центр и сеть климатических технологий ООН)
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle (электромобили на водородных топливных элементах)
G7	Group of Seven (Большая семерка)
IEA	International Energy Agency (Международное энергетическое агентство)
IRENA	International Renewable Energy Agency (Международное агентство по возобновляемой энергии)
PIK	Potsdam Institute for Climate Impact Research (Потсдамский институт по исследованию воздействий на климат)
PM2.5	Particulate Matter 2.5 (взвешенные частицы размером 2.5 микрона)
SAF	Sustainable Aviation Fuel (устойчивое авиационное топливо)
АЭС	Атомная электростанция
ВВП	Валовый внутренний продукт
ВИЭ	возобновляемые источники энергии
ЕК ООН	Европейская экономическая комиссия Организации объединённых наций
ИКАО	Международная организация гражданской авиации
ОЭСР	Организация экономического сотрудничества и развития
тCO ₂ э	тонна эквивалента углекислого газа

1 Введение

Консенсус ведущих международных исследовательских организаций, анализирующих развитие глобального энергетического сектора, состоит в том, что водород¹ в долгосрочной перспективе (2030-2050 гг.) станет важнейшим энергоносителем, роль которого в конечном потреблении энергии в мире будет больше той, что в наши дни играет сектор биотоплив. Водород благодаря своей универсальности и относительной экологической безопасности (в зависимости от способа производства водорода) может стать незаменимым в «глубокой» декарбонизации² сложных отраслей, которые в наши дни полностью зависят от ископаемого топлива – таких, как производство удобрений, стали, химическая промышленность или транспортный сектор.

Для достижения траектории 1,5 °C³, по оценке IRENA (2023)⁴, производство водорода в 2021-2050 должно вырасти с 0,7 (2021) до 125 (2030) и 523 (2050) млн тонн в год, ежегодные инвестиции в водородную инфраструктуру должны достичь \$100 (2030) - \$170 (2050) млрд в год. Доля водорода и других низкоуглеродных топлив на его основе (аммиака, метанола, синтетических топлив) в энергопотреблении глобального транспортного сектора к 2050 г. должна составить 23%.

Казахстан – единственная страна в Центральной Азии, утвердившая цель по глубокой декарбонизации национальной экономики (углеродная нейтральность к 2060). Национальная водородная стратегия страны находится в разработке, стейкхолдерам еще предстоит определить и уточнить ее приоритеты. Цель настоящей статьи – сделать подход к оценке возможной роли водорода в транспортном секторе Казахстана с тем, чтобы облегчить авторам стратегии формулирование политики для транспортной отрасли – одной из самых важных для экономики страны.

¹ Здесь и далее, если не указано обратное, под водородом подразумевается водород, произведенный с минимальными выбросами парниковых газов. Предпочтение при этом отдается зеленому водороду, произведенному на основе возобновляемой энергетики

² Глубокая декарбонизация – сокращение выбросов парниковых газов до минимально возможных значений.

³ Траектория 1,5 °C – сценарий изменения глобальных выбросов парниковых газов, который обеспечивает удержание роста средней температуры у поверхности Земли величиной не более 1,5 °C по сравнению с доиндустриальным уровнем и, таким образом, позволяет избежать катастрофических последствий глобального изменения климата.

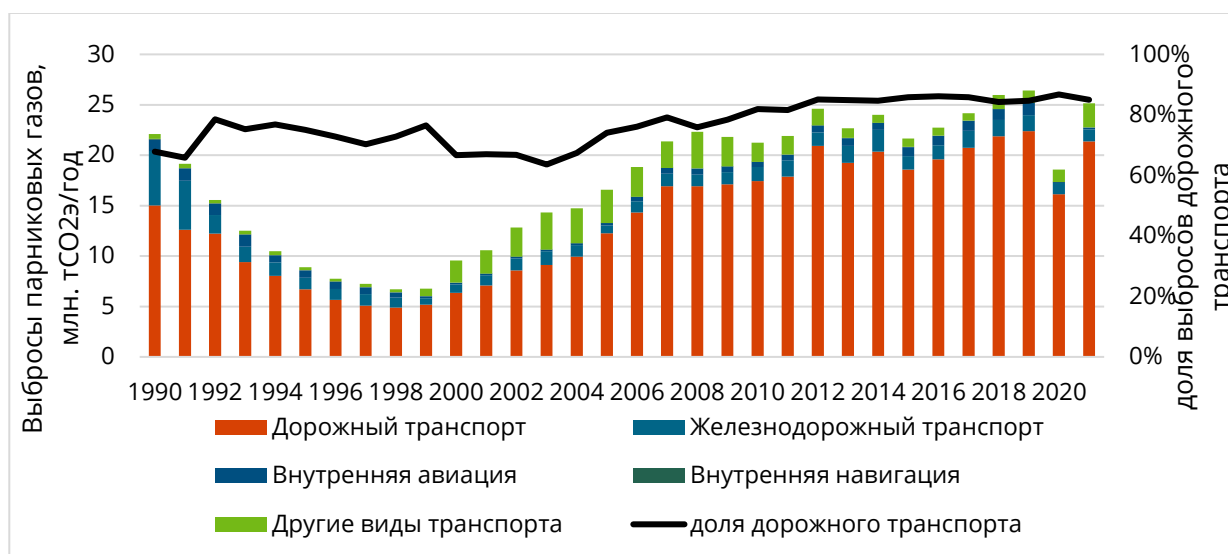
⁴ IRENA (2023), World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

2 Краткий анализ транспортного сектора Казахстана

Транспортный сектор в Казахстане - важная часть национальной экономики, которая в течение последних лет составляет около 6-8% ВВП и дает рабочие места примерно 7% занятого населения (более 600 тыс. человек) (Правительство Республики Казахстан, 2022⁵). В 2021 г. всеми видами транспорта было перевезено 3,7 млрд тонн грузов и 7,6 млрд пассажиров (там же). В целом этот сектор растет с темпами, опережающими рост остальной экономики - в 2015-21 годы среднегодовой рост транзитных перевозок всеми видами транспорта составил 14,8% (там же).

Широкие возможности для развития транспортного сектора (как пассажирского, так и грузового) открывает географическое положение Казахстана. Находясь в центре Евразии и не имея выхода к открытому морю, страна может связывать сухопутные потоки грузов и пассажиров между крупнейшими экономиками стран Европы, Юго-Восточной Азии и Ближнего Востока.

Внутренний транспорт тоже имеет решающее значение. Казахстан является крупнейшей страной Центральной Азии, обладая при этом одной из самых низких на континенте плотностью населения – около 7 человек на км² (World Bank, 2023b)⁶. Расстояния между пятью крупнейшими городами страны (Астана, Алматы, Шымкент, Караганда, Актобе) составляют порядка 500-1500 км. Уровень урбанизации Казахстана составляет около 58% (на фоне среднего уровня в странах ОЭСР около 77%) (World Bank, 2023c)⁷ – это повышает важность региональных перевозок.



Источник: анализ автора по данным Национального кадастра выбросов парниковых газов в Казахстане (2023).

В транспортном секторе Казахстана особенно значительна роль автомобильного и железнодорожного – на них приходится почти 100% перевезенных грузов и более 75% грузооборота. Автомобильный транспорт доминирует в перевозках пассажиров – его доля превышает 99%. Железнодорожный транспорт обеспечивает перевозку большей части транзитных и экспортных грузов. В перевозки вовлечен парк из 80,1 тыс. автобусов, в т.ч. 610 автобусов для международных маршрутов, и около 1800 локомотивов. Важной проблемой и для инфраструктуры, и для парка транспортных средств является высокий износ – так, лишь примерно половина от автодорог республиканского

⁵ Правительство Республики Казахстан, 2022. Об утверждении Концепции развития транспортно-логистического потенциала Республики Казахстан до 2030 г. Постановление Правительства Республики Казахстан от 30.12.22 № 1116. Режим доступа: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/P2200001116#z54>

⁶ World Bank, 2023b. Population density - Kazakhstan. Режим доступа: <https://data.worldbank.org/indicator/EN.POP.DNST?locations=KZ>

⁷ World Bank, 2023c. Urban population (% of total population) - Kazakhstan. Режим доступа: <https://data.worldbank.org/indicator/SP.URB.TOTL.IN.ZS?locations=KZ>

значения (12,8 из 24,9 тыс. км) находится в хорошем состоянии, а более 70% локомотивов характеризуются значительным износом.

Роль воздушного транспорта важна для международных пассажирских перевозок (маршрутная сеть из 28 стран), а морской грузовой транспорт обеспечивает значительные объемы экспорта по Каспийскому морю в порты Азербайджана и Ирана.

Энергопотребление в транспортном секторе Казахстана полностью зависит от ископаемых топлив, в первую очередь – нефтепродуктов. Хотя Казахстан является нетто-экспортером нефти, существенную часть нефтепродуктов страна вынуждена импортировать (например, около трети потребностей в авиакеросине). Совокупные выбросы парниковых газов в транспортном секторе (см. рисунок) в 2021 г. составили около 25 млн тонн CO₂э (из которых 20 млн тонн обеспечил дорожный транспорт). Это составило чуть менее 10% от выбросов, связанных с энергетической деятельностью (Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан, 2023⁸).

Кроме того, грузовой и легковой автотранспорт ответственны за загрязнение воздуха в зонах, окружающих автодороги, особенно в городах. В Астане и Алматы они ответственны примерно за 40% выбросов оксида азота и до 8% выбросов мелких твердых частиц PM_{2.5}, которые негативно влияют на здоровье горожан (World Bank, 2022⁹).

Таким образом, для обеспечения дальнейшего развития транспортного сектора в Казахстане регуляторам предстоит совмещать решение краткосрочных задач (прежде всего, износ и недостаточное развитие инфраструктуры) со средне- и долгосрочными (декарбонизация, развитие новой инфраструктуры и уменьшение вредного воздействия на окружающую среду) в контексте выгодного географического положения и уверенного роста численности населения страны.

⁸ Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан. Национальный доклад Республики Казахстан о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом о кадастре парниковых газов. Апрель 2023. Режим доступа: <https://unfccc.int/documents/627844>

⁹ World Bank, 2022. Clean Air and Cool Planet. Volume II. Integrated Air Quality Management and Greenhouse Gas Reduction for Almaty and Nur-Sultan. July 2022. URL: <https://elibrary.worldbank.org/doi/abs/10.1596/37938>

3 Потенциальные области применения водорода в транспортном секторе

3.1 Контекст и ключевые драйверы

Применение водорода в транспортном секторе уже несколько раз попадало в центр внимания во время предыдущих «волн» глобального интереса к водороду. Этому способствовали различные драйверы, которые продолжают действовать и сегодня – в том числе и в Казахстане.

1. Обеспечение энергобезопасности стран-импортеров нефтепродуктов и нефти – за счет внедрения альтернативного топлива (водорода), которое можно производить независимо от поставщиков нефти.
2. Сокращение выбросов парниковых газов – за счет низкоуглеродной природы водорода, в особенности возобновляемого (при условии соблюдения критериев устойчивости его производства, см. подробнее IRENA & RMI (2023)¹⁰)
3. Сокращение загрязнения воздуха – за счет отсутствия примесей в самом водороде (например, серы) и перехода от двигателя внутреннего сгорания на электродвигатель с водородными топливными элементами. В электромобилях на водородных топливных элементах (FCEV) водород из баков на борту преобразуется в электроэнергию, которая используется в электродвигателе, а выбросом является лишь водяной пар, не содержащий вредных веществ.
4. Развитие промышленности в области электрохимии, топливных элементов и автомобилестроения. Чтобы сохранить возможности для лидеров рынка, ведущие страны автомобильной промышленности (Германия, Китай, США, Южная Корея, Япония) развивают водородно-электрический транспорт в качестве нишевого приложения.

Эти и другие важные драйверы по-разному реализуют себя в разных странах. Тем не менее, во всех без исключения национальных водородных стратегиях стран G7 использование водорода в транспортном секторе не только упоминается, но часто относится к высокоприоритетным сферам конечного использования (см. рисунок).

TABLE 2.2 Stated policy priority across G7 strategic documents

Category		Canada	European Union	France	Germany	Italy	Japan	United Kingdom	United States
END-USE	Shipping	●●	●●	●○	●○	●○	●●	●●	●○
	Aviation	●●	●●	●○	●●	●○	○○	●●	●○
	Trains	●●	●○	●●	●●	●●	●○	●●	○○
	Trucks	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●
	Buses	●●	●○	●●	●●	●○	●●	●●	●●
	Cars	●●	○○	○○	●○	○○	●●	●●	○○

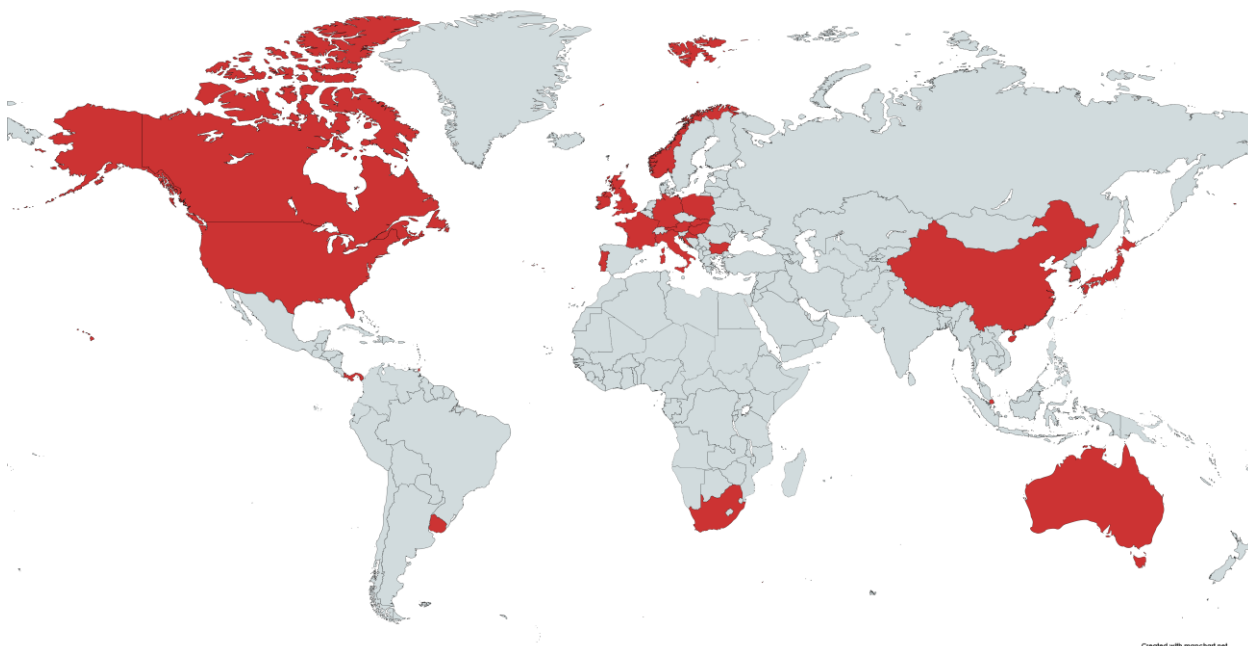
●● High priority ●○ Priority/mentioned ○○ Low/no priority

Источник: IRENA (2022)¹¹.

¹⁰ IRENA & RMI (2023), Creating a global hydrogen market: Certification to enable trade, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi; and RMI, Colorado.

¹¹ : IRENA (2022), Accelerating hydrogen deployment in the G7: Recommendations for the Hydrogen Action Pact, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi

По состоянию на август 2023 не менее 25 стран упомянули водородный транспорт в национальных стратегиях (см. рис.)



Источник: анализ автора по данным национальных водородных стратегий / IRENA (2024, forthcoming).

Анализ приоритетов национальных водородных стратегий показывает, что они, как правило, концентрируются на применении водорода в сегментах тяжелого и дальнего транспорта:

- тяжелые грузовики;
- автобусы (в особенности дальнего следования);
- железнодорожный транспорт;
- авиация и судоходство.

Фокус для водорода на сегментах тяжелого и дальнего транспорта связан с тем, что для легкового транспорта недалней протяженности уже сейчас развиваются конкурентоспособные решения на основе батарей – BEV (battery electric vehicle, батарейные/аккумуляторные электромобили). По стоимости владения в Европе легковые аккумуляторные электромобили уже сравнялись с бензиновыми и дизельными автомобилями (DNV, 2022¹²). 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.

Электромобили на водородных топливных элементах (FCEV, fuel cell electric vehicle) способны обеспечить (по сравнению с BEV) больший запас хода икратно меньшие затраты времени на заправку, а также упростить разворачивание зарядной/заправочной инфраструктуры. Эти преимущества имеют решающее значение именно в сегментах тяжелого и дальнего транспорта.

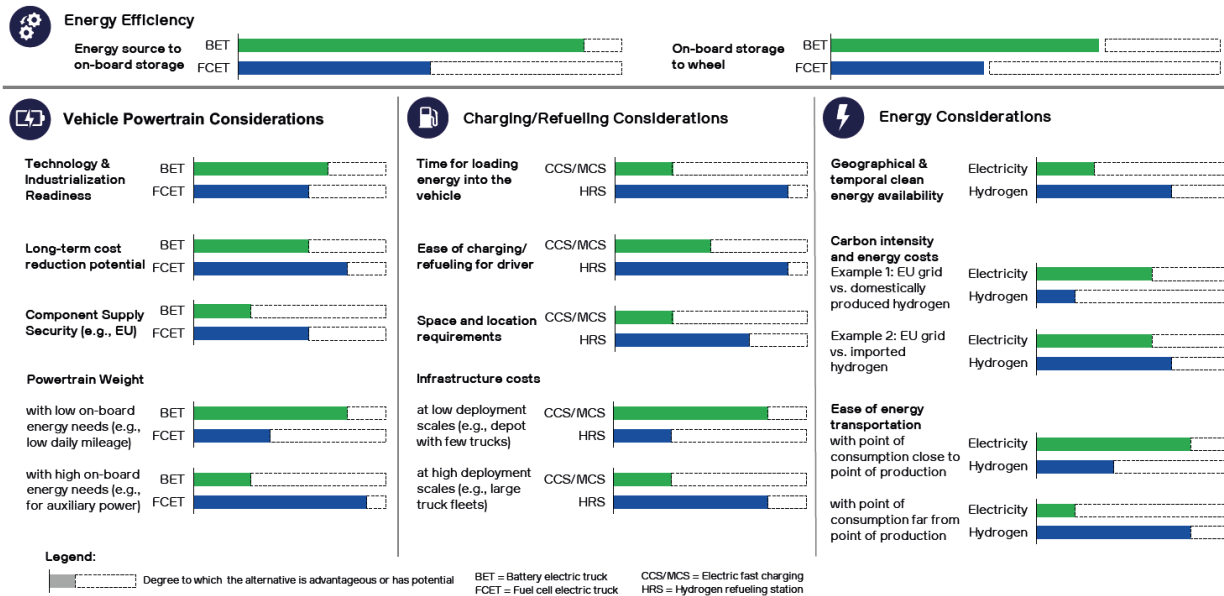
3.1. Тяжелые грузовики и автобусы: глобальный контекст

В сегменте тяжелых грузовиков использование водорода рассматривают несколько стран и ключевых автопроизводителей – например, Daimler Truck, Dongfeng, Iveco, Hyundai, Sinotruck, Toyota, Volvo Group, Kenworth. Первые модели грузовиков уже проходят всесторонние тесты и готовятся к коммерциализации, но пока не получили широкого распространения. В мире зарегистрировано всего около 15 тыс. водородных грузовиков и автобусов, подавляющее число из которых - в Китае (IEA, 2023¹³).

¹² DNV GL. Energy Transition Outlook 2023: Transport in Transition. <https://www.dnv.com/Publications/transport-in-transition-242808>

¹³ IEA Global EV Outlook 2023. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>

Multitude of factors need to be considered and there is no silver bullet solution in decarbonizing HDTs



Источник: Quatron AG.

Распространена точка зрения о том, что у FCEV в этом сегменте в целом больше преимуществ, чем у BEV (см., например, Quatron AG (2023¹⁴). Тяжелые водородные грузовики кратно легче аккумуляторных, находятся примерно на одном с ним уровне технологической готовности (и обладают большим потенциалом сокращения затрат), гораздо быстрее (и проще для водителя) заправляются. Инфраструктура для их заправки будет дешевле, особенно для значительных по размеру автопарков. Чистая энергия в виде водорода будет более доступна (в пространстве и времени) для заправки FCEV, чем электроэнергия от ВИЭ для зарядки BEV – особенно в том случае, если зарядная инфраструктура располагается далеко от места производства электроэнергии или водорода.

Сравнительный анализ FCEV и BEV для условий дальних грузоперевозок между западным и восточным побережьями США показал, что водородные грузовики предпочтительнее по количеству необходимых остановок, общему времени заправки, доступному месту для груза, общей продолжительности поездки и простоте создания заправочной инфраструктуры (Clean Air Task Force, 2023)¹⁵.

Совокупная доля FCEV и BEV в глобальном автопарке средних и тяжелых грузовиков близка к нулю и, по прогнозу BNEF, может достичь 10% только в середине 2030-х годов (BNEF, 2023¹⁶). На контрасте, в сегменте автобусов эта доля уже в 2022 году составляет около 25% - этот автопарк уже превышает 500 тысяч единиц (подавляющее большинство – аккумуляторные). Водородные электробусы получают распространение в городах Китая (Шанхай, Фошан, Чжанцзяоу и Чэнду), Европы, Южной Кореи (Инчон) и США (города Калифорнии) (Deloitte & Ballard, 2020¹⁷), среди ведущих компаний в этом сегменте - Foton AUV, Yutong, Toyota, Hyundai, Van Hool, Solaris, New Flyer. В целом преимущества FCEV перед BEV в сегменте автобусов аналогичны сегменту грузовиков – с той разницей, что автобусы обычно следуют по постоянным или предсказуемым маршрутам, и это облегчает создание для них оптимальной зарядной инфраструктуры (особенно в пределах городов).

3.2. Тяжелые грузовики и автобусы: ситуация в Казахстане

В Казахстане зарегистрировано более 500 тыс. грузовиков и 80 тыс. автобусов, в том числе более 600 автобусов на международных маршрутах. Автотранспорт и внедорожный транспорт генерирует 88% эмиссий парниковых газов в

¹⁴ BEV or FCEV? The complementary roles of Battery and Fuel Cell Electric Trucks / Quatron AG, 2022. https://www.quatron.net/wp-content/uploads/2023/01/Quatron-AG_Whitepaper-BEV-or-FCEV.pdf

¹⁵ Walker, Thomas. Zero Emission Long-Haul Heavy-Duty Trucking / Clean Air Task Force, March 2023. <https://www.catf.us/resource/zero-emission-long-haul-heavy-duty-trucking/>

¹⁶ BNEF Electric Vehicle Outlook 2023. <https://about.bnef.com/blog/electric-vehicle-fleet-set-to-hit-100-million-by-2026-but-stronger-push-needed-to-stay-on-track-for-net-zero/>

¹⁷ Deloitte China & Ballard. Fueling the Future of Mobility. Hydrogen and fuel cell solutions for transportation. March 2020. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/cn/Documents/finance/deloitte-cn-fueling-the-future-of-mobility-en-200101.pdf>

транспортном секторе Казахстана¹⁸ – и, по опыту США (EPA, 2023¹⁹), примерно за половину от этого количества может быть ответствен именно сектор грузовиков и автобусов. В стратегии декарбонизации этого внушительного автопарка и в водородной стратегии Казахстана можно предусмотреть решения на основе FCEV, размещая пилотную заправочную инфраструктуру близко к местам производства водорода (в том числе «серого», который производят со значительными выбросами парниковых газов), крупных городах и вдоль автотрасс, использующихся для международного транзита грузов. На каждую водородную заправку приходится от 10 до 200 водородных электромобилей – в зависимости от страны (IEA, 2023). Горно-металлургическая компания ERG Group уже проводит исследование возможности развития водородного транспорта (с замещением части дизельного топлива) на своих казахстанских предприятиях²⁰.

В климатических условиях Казахстана будет иметь важное значение еще одно преимущество FCEV перед BEV – меньшие потери эффективности и запаса хода водородных грузовиков и автобусов при снижении температуры наружного воздуха. Среднегодовая температура в Астане и Алматы (около 4-10 °С) и средний минимум (-1...+5 °С) примерно в 1,5-2 раза ниже, чем в Шанхае, Инчоне, Роттердаме или Калифорнии. По данным Deloitte, при снижении температуры с +15 °С до -15 °С запас хода легкового BEV сокращается с 283 до 207 км (Deloitte & Ballard, 2020). Анализ эксплуатационных показателей восьми парков водородных и аккумуляторных электробусов в США показывает, что при изменении температуры с 10-15°С до -5-0°С потеря дальности хода BEV более значительна, чем у FCEV (37,8% против 23,1%). Это обстоятельство важно учитывать, планируя замещение дизельных и бензиновых автобусов транспортными средствами с низкими выбросами (Henning et al., 2019)²¹.

3.3. Железнодорожный транспорт

Водородные поезда, которые используют электроприводы и топливные элементы на водороде, являются частью водородных стратегий всех стран G7, кроме США. Как и в случае с дорожным транспортом, приоритетная зона для водородных поездов – дальние тяжелые перевозки на неэлектрифицированных маршрутах (то есть по путям, лишенных электрической контактной сети).

Для условий Европы водородные моторвагонные составы могли бы заменить до 30% существующих дизельных поездов (Roland Berger, 2019²²). Максимальный потенциал они имеют на неэлектрифицированных маршрутах длиной более 100 км, на главных маршрутах с низкой загрузкой (меньше 10 поездов в день – при повышении загрузки инвестиции в электрификацию путей могут стать более рентабельными). Среди преимуществ – возможность ограничить время заправки 20 минутами, а запас хода на одной заправке – 18 часами, то есть двумя полноценными днями.

Для условий Австралии (плотность железнодорожной сети в которой сопоставима с Казахстаном) водородные поезда могут оказаться эффективнее чисто аккумуляторных для тяжелых грузоперевозок – при запасе энергии более 17 МВт·ч (порог определяется текущими массогабаритными характеристиками дизельных локомотивов и прицепов к ним, которые нужно заменить на низкоуглеродные аналоги) (Knibbe et al., 2022)²³.

China Railway Rolling Stock Corporation оценивает, что водородные поезда могут заменить до 90% из 7800 дизельных локомотивов в Китае, и уже развивает новые модели на водороде с дальностью хода до 180 часов²⁴.

В Казахстане свыше 16 тыс. км железнодорожных путей и более 1800 локомотивов. Электрифицированные участки составляют около 40% от общей протяженности железных дорог и сконцентрированы, в основном, на севере и юге страны. Железнодорожный транспорт отвечает примерно за 4% прямых эмиссий парниковых газов в транспортном секторе Казахстана, а также за косвенные эмиссии, связанные с потреблением электроэнергии (которая пока в

¹⁸ Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан, 2023

¹⁹ US EPA. Fast Facts on Transportation Greenhouse Gas Emissions. <https://www.epa.gov/greenvehicles/fast-facts-transportation-greenhouse-gas-emissions>

²⁰ Инвестиции ERG в развитие производства в Казахстане могут составить до 6 млрд. долларов США в период до 2031 года / Октябрь 2021. Режим доступа: <https://www.erg.kz/ru/news/2284>

²¹ Henning et al. "An Analysis of the Association between Changes in Ambient Temperature, Fuel Economy, and Vehicle Range for Battery Electric and Fuel Cell Electric Buses" (2019). All Maxine Goodman Levin School of Urban Affairs Publications. 0 1 2 3 1630. https://engedscholarship.csuohio.edu/urban_facpub/1630

²² Study on the use of fuel cells and hydrogen in the railway environment / Roland Berger, 2019. <https://rail-research.europa.eu/publications/study-on-the-use-of-fuel-cells-and-hydrogen-in-the-railway-environment>

²³ Knibbe et al. Application and limitations of batteries and hydrogen in heavy haul rail using Australian case studies. October 2022. <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105813>

²⁴ China powers up hydrogen rail plans with locomotive conversion / June 2023. Режим доступа:

<https://www.scmp.com/news/china/science/article/3224372/china-powers-hydrogen-rail-plans-locomotive-conversion>

Казахстане производится в основном на угольных ТЭС). При условии, что в стране будет расширено производство электроэнергии на АЭС, концепция низкоуглеродного развития национальной компании «Қазақстан Темір Жолы» до 2060 г. предусматривает электрификацию путей и развитие локомотивов на аккумуляторах и сжиженном природном газе²⁵. Развитие водородных поездов могло бы стать частью этой концепции – с учетом международного опыта в похожих странах и особенностей Казахстана.

3.4. Авиация и судоходство

Глубокая декарбонизация международных авиаперевозок возможна только через отказ от авиакеросина, получаемого из ископаемого топлива. В долгосрочной перспективе это возможно сделать за счет перехода на использование устойчивого авиационного топлива (SAF, sustainable aviation fuel), которое производят, в основном, из биомассы, а также водорода. По данным ИКАО, SAF является главным направлением для декарбонизации авиации (ИКАО, 2022)²⁶. Авиакомпании Emirates (2023)²⁷, Qatar Airways (2023)²⁸ и Lufthansa (2023)²⁹, совершающие рейсы в аэропорты Казахстана, уже работают в этом направлении, а последняя является одним из крупнейших в мире покупателей SAF.

Компании Airbus (2023)³⁰ и Embraer (2021)³¹, воздушные суда которых составляют основу парка национального перевозчика Казахстана AirAstana, рассматривают создание водородных самолетов как важное направление своей стратегии и ведут активные разработки. Airbus считает водород «одной из наиболее многообещающих технологий декарбонизации авиации» и планирует к 2035 году вывести на рынок первый коммерческий водородный самолет.

В Казахстане авиация играет важную роль в международных перевозках, а правительственная концепция развития транспорта (Правительство Республики Казахстан, 2022) делает акцент на развитии хабов с ростом обслуживания международных авиаперевозок и технических посадок. В то же время, по мере декарбонизации международной авиации будет расти конкурентоспособность аэропортов с инфраструктурой, готовой к поставкам SAF и водорода. Важно будет учитывать эту тенденцию при планировании развития аэропортов, в первую очередь Алматы и Астаны. По состоянию на 2022 год потребление авиакеросина в Казахстане составило около 1 млн тонн, в том числе импорт около 300 тыс. тонн.

Международный аэропорт Эдмонтон в Канаде (провинция Альберта) сопоставим по пассажиропотоку с аэропортом Алматы (порядка 6 млн чел в год) и находится в более холодном климате. Руководство аэропорта ожидает³² появление водородных самолетов быстрее – уже к 2025 – и подготавливает инфраструктуру, развивает местный наземный водородный транспорт. Эдмонтон – один из нескольких водородных хабов в рамках канадской водородной стратегии.

Глубокая декарбонизация морского судоходства в глобальном масштабе обычно связывается с аммиаком, метанолом и другими низкоуглеродными судовыми топливами (аммиак и метанол в этом случае производятся из возобновляемого водорода с минимальными выбросами парниковых газов). Декарбонизация речного транспорта возможна через электропривод с водородными топливными элементами. В марте 2023 года в Китае спущено первое

²⁵ Интегрированный годовой отчет акционерного общества «Национальная компания «Қазақстан Темір Жолы» за 2022 год

²⁶ ИКАО (2022). Доклад об осуществимости долгосрочной желательной цели (LTAG) по сокращению эмиссии CO₂ для международной авиации. Март 2022. <https://www.icao.int/environmental-protection/LTAG/Pages/LTAGreport.aspx>

²⁷ Emirates (2023). Emirates operates milestone demonstration flight powered with 100% Sustainable Aviation Fuel. Режим доступа: <https://www.emirates.com/media-centre/emirates-operates-milestone-demonstration-flight-powered-with-100-sustainable-aviation-fuel>

²⁸ Qatar Airways (2023). Qatar Airways Signs Deal with Shell for Sustainable Aviation Fuel Supply at Amsterdam Schiphol Airport. Режим доступа: <https://www.qatarairways.com/press-releases/en-WW/226578-qatar-airways-signs-deal-with-shell-for-sustainable-aviation-fuel-supply-at-amsterdam-schiphol-airport>

²⁹ Lufthansa (2023). SAF is a genuine alternative to fossil aviation fuel and essential for the energy transition in aviation. Режим доступа: <https://www.lufthansagroup.com/en/responsibility/climate-environment/sustainable-aviation-fuel.html>

³⁰ Airbus (2023). Hydrogen: an important decarbonisation pathway. Режим доступа: <https://www.airbus.com/en/innovation/low-carbon-aviation/hydrogen>

³¹ Embraer (2021). Embraer presents the Energia Family – Four New Aircraft Concepts Using Renewable Energy Propulsion Technologies. Режим доступа: <https://embraer.com/global/en/news/?slug=1206950-embraer-presents-the-energia-family-four-new-aircraft-concepts-using-renewable-energy-propulsion-technologies>

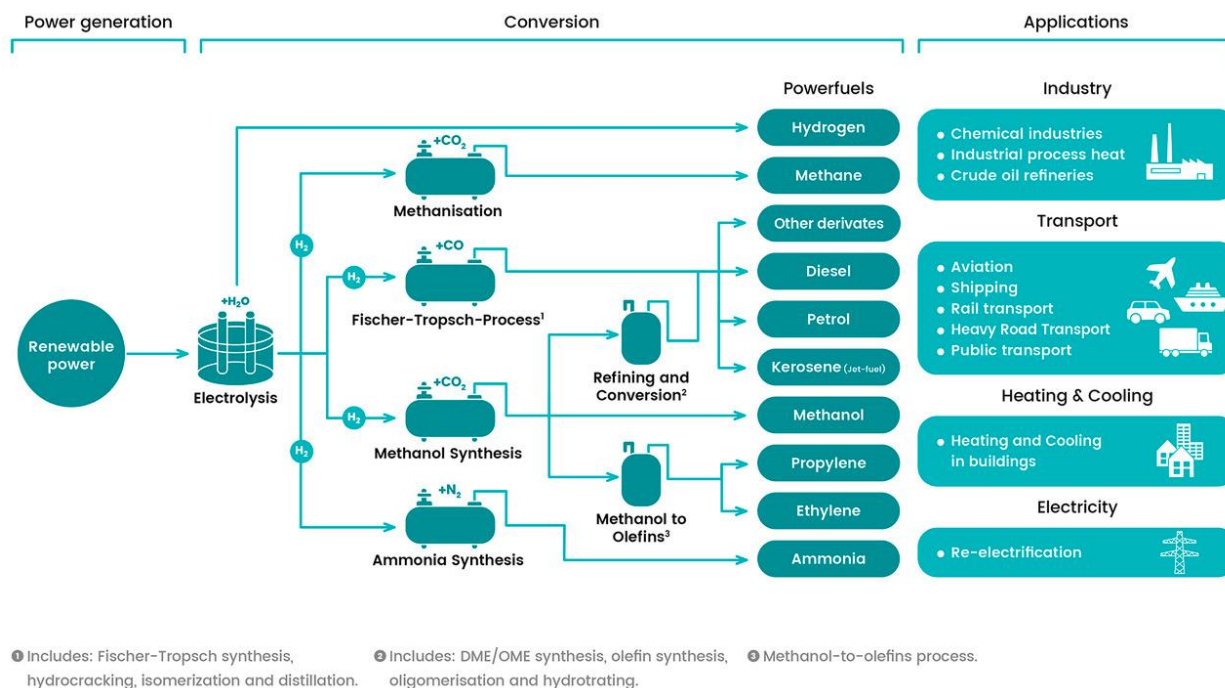
³² Canadian airport betting big on hydrogen. May 2022. Режим доступа: <https://www.freightwaves.com/news/canadian-airport-betting-big-on-hydrogen>

в стране подобное судно - Three Gorges Hydrogen Boat No. 1 – длиной около 50 метров, имеющее на борту водородные топливные элементы мощностью 500 кВт и развивающее скорость до 28 км/ч³³.

Доля авиации в выбросах парниковых газов в транспортном секторе Казахстана составляет менее 4%, доля водного транспорта – меньше 1%. Это позволяет расставить приоритеты в пользу тяжелого дорожного и железнодорожного транспорта.

3.5. E-fuels (электротоплива)

Водород в транспортном секторе может использоваться не только напрямую – через электропривод и топливные элементы, примеры применения которых описаны выше – но и с преобразованием его в так называемые e-fuels, powerfuels, «электротоплива».



Источник: International PtX Alliance, dena.

Так называют дизельное топливо, бензин, керосин и другие перспективные топлива (метанол, аммиак), которые получают с помощью водорода, CO/CO₂ или N₂ в процессах Фишера-Тропша, синтеза метанола или аммиака. Если все компоненты, применяемые в этих процессах, и энергия будут углеродно-нейтральными (например, если CO или CO₂ – биологического происхождения, а электроэнергия – от ВИЭ), то и e-fuels будут углеродно-нейтральными (в отличие от обычных топлив, получаемых переработкой нефти и газа).

Преимущества e-fuels для транспортного сектора – в возможности использования всей существующей заправочной инфраструктуры и парка транспортных средств. Переход на электропривод в этом сценарии не нужен – автомобили могут продолжать использовать ДВС, а самолеты – двигатели на авиакеросине. Недостаток – в высокой стоимости процессов переработки, в результате которых цена бензина может составить около 50 евро за литр, в 100 раз дороже обычного бензина. Ожидания связаны с резким снижением цены по мере выхода производства e-fuels на промышленные масштабы – до двух или одного евро за литр (PIK, 2023)³⁴.

Для изучения направления e-fuels Казахстан может использовать опыт нефтепереработки – мощность трех крупнейших заводов страны составляет более 16 млн. тонн в год.

³³ CCS, 2023. "Here Comes the Hydrogen Boat"! "Three Gorges Hydrogen Boat No. 1" with Technical Support from China Classification Society (CCS) for is Launched. / Режим доступа: <https://www.ccs.org.cn/ccswzen/articleDetail?id=202303280227441152>

³⁴ PIK, 2023. E-Fuels wahrscheinlich noch lange knapp: PIK Analyse-Papier. <https://www.pik-potsdam.de/de/aktuelles/nachrichten/e-fuels-wahrscheinlich-noch-lange-knapp-pik-analyse-papier>

4 Возможности и вызовы для водородного транспорта в Казахстане

Стратегия декарбонизации Казахстана до 2060 предполагает, что транспортный сектор страны будет трансформироваться от преобладания нефтепродуктов в текущей системе (2022) до доминирования электроэнергии, водорода и биотоплива (2060) (Президент Республики Казахстан, 2023)³⁵. Таким образом, вопрос не в том, применять или нет водород в транспортном секторе страны – вопрос в том, как и когда это сделать максимально эффективно для экономики, учитывая тенденции развития соответствующих технологий и специфические особенности Казахстана. Для этого разумно оценить как возможности, так и барьеры.

4.1. Возможности

Первая возможность определяется географическими особенностями страны. Казахстан будет развивать транспортный сектор как для улучшения связности между ключевыми центрами экономики (с учетом роста населения), так и для разворачивания международного транзита грузов и пассажиров. Вне зависимости от сегмента транспорта (дорожный, железнодорожный, авиационный, водный), в долгосрочной перспективе конкурентоспособность можно будет обеспечить только в случае их декарбонизации. Например, водородная «дорожная карта» правительства Парагвая исходит из того, что эта страна без выхода к открытому морю с изношенной транспортной инфраструктурой может выиграть, если будет развивать водородный транспорт³⁶.

Масштабная инициатива Китая "Пояс и путь" затрагивает территорию и экономику Казахстана³⁷ – и в долгосрочной перспективе потребует реализации низкоуглеродных решений во всех хабах и транспортных путях. Китай будет продвигать решения и сотрудничество в области зеленой логистики и транспорта на новых источниках энергии (включая водород) по всему «Поясу и пути» (English.gov.cn., 2022³⁸). Вместе с декарбонизацией развитие водородного транспорта положительно скажется на качестве воздуха в городах и вдоль транспортных магистралей.

Новая европейская стратегия Global Gateway направлена на развитие «умных», экологически чистых и безопасных связей в цифровом, энергетическом и транспортном секторах. Планируется мобилизовать до 300 млрд евро инвестиций в период до 2027 года, которые будут направлены на реализацию первоочередных проектов в Африке, Азиатско-Тихоокеанском регионе, Латинской Америке, Карибском бассейне, в Центральной Азии. В соответствии с исследованием (EBRD, 2023³⁹), в Казахстане можно выделить 14 приоритетных направлений для инвестиций в транспортную инфраструктуру, в том числе первоочередные - автодорога Шалкар-Бейнеу, объезд железнодорожного вокзала Алматы, новая железная дорога Дарбаза-Мактаарал, расширение железнодорожных станций Сарыагаш и Алтынколь.

Вторая возможность связана со значительным износом транспортной инфраструктуры Казахстана. Жизненный цикл инвестиционных решений, направленных на ее замену и модернизацию, может превышать 30 лет и приближаться к 2060 году, в котором Казахстан должен достичь углеродной нейтральности. Это означает, что нынешние регуляторные и инвестиционные решения в отношении как транспортных средств, так и инфраструктуры лучше принимать с учетом этой долгосрочной перспективы, и водородные технологии могут быть оптимальными в отдельных сегментах.

Третья возможность – в преимуществах водорода по сравнению с альтернативными энергоносителями, которые могут обеспечить декарбонизацию транспортного сектора в Казахстане. Компримированный природный газ в

³⁵ Об утверждении Стратегии достижения углеродной нейтральности Республики Казахстан до 2060 года

Указ Президента Республики Казахстан от 2 февраля 2023 года № 121, <https://adilet.zan.kz/rus/docs/U2300000121>

³⁶ Towards the Green Hydrogen Roadmap in Paraguay. Conceptual Framework / Vice Ministry of Mines and Energy, June 2021. https://www.ssme.gov.py/vmme/index.php?option=com_content&view=article&id=2064&Itemid=552

³⁷ «Инициатива "Один пояс - один путь" увеличит ВВП Казахстана на 21%». / апрель 2023. Режим доступа: https://www.kt.kz/rus/ekonomika/initsiativa_odin_poyas_-_odin_put_uvelichit_vvp_1377949323.html

³⁸ China to boost green development of Belt and Road / March 2022. URL:

http://english.www.gov.cn/statecouncil/ministries/202203/28/content_WS6241bbb2c6d02e5335328607.html

³⁹ EBRD, 2023. Sustainable transport connections between Europe and Central Asia. URL: https://transport.ec.europa.eu/system/files/2023-06/Sustainable_transport_connections_between_Europe_and_Central_Asia.pdf

качестве моторного топлива может обеспечить сокращение выбросов парниковых газов лишь на 20% (СТСН, 2023⁴⁰) по сравнению с бензином. Кроме того, природный газ потребуется в других секторах экономики, - например, для декарбонизации угольных электростанций или котельных. Аккумуляторный электротранспорт позволит сократить выбросы до нуля (если электроэнергия для его работы будет поступать от ВИЭ или АЭС), но он менее эффективно работает в холодном климате, чем водородный. Кроме того, в сегментах тяжелого и дальнего транспорта, важных для Казахстана, водородный транспорт часто оказывается предпочтительнее, как показано выше.

Наконец, развитие водородного транспорта может открыть новые возможности для международного сотрудничества и инновационного развития. Китай, Япония, Южная Корея, Германия, Евросоюз и другие партнеры Казахстана активно развивают этот сектор, располагают лучшими в мире технологиями, отработанными бизнес-моделями и регуляторными решениями. Используя эти международные связи, Казахстан может начать интеграцию в глобальные цепочки поставок технологий водородного транспорта – от добычи критических минералов (платины, иридия и лития) до наукоемкого и высокотехнологичного изготовления новых транспортных средств, водородных топливных элементов и их компонентов.

4.2. Барьеры

Главный барьер – это высокая стоимость водорода и транспортных средств на его основе. Водородный электротранспорт сравняется по стоимости владения с обычным только тогда, когда объемы производства водорода и топливных элементов позволят реализовать эффект масштаба. До этого времени развитие водородного транспорта во всех странах мира связано с субсидиями, льготами и другими стимулирующими мерами. Концентрация на наиболее важных для Казахстана секторах и привлечение международного финансирования может позволить оптимизировать эти затраты.

Второй барьер связан с большими энергозатратами. Транспортный сектор Казахстана в 2020 г. потребил более 311 тыс. ТДж энергии, что сопоставимо с годовой выработкой электроэнергии всеми электростанциями страны (около 110 ТВт-ч) (IEA, 2023⁴¹). Перевод сколь-нибудь значительной части транспортного сектора на водород потребует соответствующих инвестиций в создание мощностей по производству водорода и источники энергии и сырья для него – электроэнергии ВИЭ или АЭС, природного газа и CCUS, воды. Энергии потребуется произвести гораздо больше, чем потребности транспортного сектора – из-за потерь энергии при производстве водорода и его транспортировке до заправочных станций. Интеграция транспортной стратегии Казахстана с энергетической стратегией поможет учесть эти важные взаимосвязи.

Третий барьер определяется тем, что водородный транспорт серьезно отличается от обычного – и сами транспортные средства, и заправочная инфраструктура, и их эксплуатация и обслуживание требуют применения новых подходов и новых компетенций вовлеченного в эти процессы персонала. Этот барьер обычно преодолевается через выравнивание нормативного поля (технических стандартов, в том числе в области промышленной безопасности) с международными, а также с помощью реализации образовательных программ разного уровня.

Наконец, как и всему новому, водородному транспорту важно получить общественное признание. Реализация пилотных демонстрационных проектов в общественном транспорте, просветительские проекты могут помочь развеять мифы вокруг этого сектора и познакомить людей с реальными возможностями и барьерами.

⁴⁰ СТСН, 2023. Сжатый природный газ (СПГ) в качестве топлива. Режим доступа: <https://www.ctc-n.org/technology-library/vehicle-and-fuel-technologies/compressed-natural-gas-cng-fuel>

⁴¹ IEA, 2023. Energy Statistics Data Browser: Kazakhstan. Режим доступа: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=KAZAKHSTAN>

5 Выводы и рекомендации

Анализ показал, что транспортный сектор является значительным источником выбросов парниковых газов в Казахстане (около 10%). Отрасль будет продолжать рост, что определяется территорией и географическим положением Казахстана, расположенным в центре континента, а также целью правительства развивать международные транзитные логистические маршруты. В то же время, почти 100% (за исключением электрифицированного железнодорожного транспорта) энергии этот сектор получает от нефтепродуктов (частично импортируемых). Достижение углеродной нейтральности к 2060 г. в казахстанской экономике потребует декарбонизации транспортного сектора – и водородные технологии могут сыграть в этом значительную роль.

Водородный транспорт включен в национальные водородные стратегии в более чем 25 странах мира – в том числе схожих с Казахстаном по географическому положению, территории и уровню развития экономики. Китай, имеющий с Казахстаном общую границу протяженностью более 1700 км, является одним из мировых лидеров в водородном транспорте и точно будет продвигать его использование через такие международные инициативы, как "Пояс и путь". Евросоюз выступает с аналогичной инициативой Global Gateway, которая также делает фокус на экологической безопасности применяемых решений.

В международных стратегиях и пилотных проектах в области водородного транспорта фокус обычно делается на сегментах тяжелого и дальнего транспорта – тяжелые грузовики (в том числе внедорожные – такие, как карьерные самосвалы), междугородние автобусы, поезда, самолеты и тяжелые речные и морские суда. Это связано с тем, что для легкового транспорта незначительной протяженности уже сейчас развиваются конкурентоспособные решения на основе электропривода и аккумуляторов. Дорожный транспорт отвечает почти за 90% выбросов парниковых газов в транспортном секторе Казахстана и вносит значительный вклад в ухудшение качества воздуха в городах и вдоль автомагистралей. По мировому опыту, около половины этого количества может быть связано с грузовиками и автобусами. По состоянию на 2021 год в Казахстане были зарегистрированы 500 тыс. грузовиков и 80 тыс. автобусов, и при обновлении и декарбонизации этого внушительного парка водородные технологии точно могут найти свою нишу. Определенный потенциал есть у водорода в железнодорожном, воздушном и водном транспорте Казахстана, но размер этих сегментов ограничен.

Развитие водородного транспорта в Казахстане позволит более полно раскрыть потенциал страны как логистического хаба в контексте глобальной декарбонизации. Износ транспортной инфраструктуры страны потребует новых инвестиционных решений, которые было бы разумно принимать с учетом этой долгосрочной перспективы. Водород имеет ряд преимуществ перед другими направлениями декарбонизации транспорта – в частности, более широкие возможности для работы транспортных средств на водороде в холодном климате по сравнению с аккумуляторным электротранспортом. Партнерские отношения Казахстана со странами-лидерами в развитии водородного транспорта открывают путь для международной кооперации и интеграции страны в глобальные цепочки поставок в области водородных технологий.

Развитие водородного транспорта потребует значительных затрат и опережающих усилий по созданию цепочки поставок водорода в Казахстане – заводов по производству водорода, электростанций для этих заводов, системы транспортировки водорода и заправочной инфраструктуры. Кроме того, потребуются работа по интеграции водорода и водородного транспорта в систему технического регулирования (в том числе промышленной безопасности) страны, образовательные, просветительские и демонстрационные проекты. Систематизации этой работы поможет принятие национальной водородной стратегии, связанной со стратегическими документами Казахстана в области декарбонизации, энергетической политики и развития транспортного сектора.

Ключевые рекомендации для нормотворцев:

1. Сделать транспортный сектор частью разрабатываемой национальной водородной стратегии, определить приоритеты, ключевые фазы и вехи для использования возобновляемого водорода в транспорте, установить целевые показатели.
2. Синхронизировать транспортную, водородную, энергетическую стратегию Казахстана со стратегией декарбонизации на пути к углеродной нейтральности к 2060 г.
3. Изучить международный опыт в области мер поддержки и регулирования водородного транспорта в приоритетных для Казахстана сегментах – как малозатратные, так и требующие значительных государственных субсидий.

4. Синхронизировать цели по развитию водородного транспорта с целями по разворачиванию цепочки производства водорода в Казахстане.
5. Инициировать координацию, открытое обсуждение темы водородного транспорта и согласование ключевых позиций между главными заинтересованными лицами – правительством, акиматами, транспортными и промышленными компаниями.
6. Запустить работу по адаптации международных технических стандартов в области водородного транспорта к нормативному полю Казахстана.
7. Инициировать международное сотрудничество в области водородного транспорта – в том числе в области регулирования и оптимальной поддержки этого сектора, в сфере демонстрационных, образовательных, просветительских проектов.

